

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Ostrovskaya Svitlana Serhiivna / Островська Світлана Сергіївна

European Medical University / Європейський медичний університет

Ukraine, 49005, Dnipro, 3 Akademika Dzyaka str. / Адреса: Україна, 49005, м Дніпро, 49005, вул. Академіка Дзяка 3

Tel.: +380675915184 / Тел.: +380675915184

E-mail: s.ostr2018@gmail.com

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

Received 17.07.2024 / Стаття надійшла 17.07.2024 року

Accepted 20.11.2024 / Стаття прийнята до друку 20.11.2024 року

DOI 10.29254/2077-4214-2024-4-175-91-102

UDC 612.881/.886-053

Pastukhova V. A., Shirai T. V.

INFLUENCE OF VESTIBULAR SENSORY LOAD ON VEGETATIVE REACTIONS

National University of Physical Education and Sports of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Pastuhova_V@ukr.net

In works on the theory and physiology of sports, great importance is attached to the vestibular analyzer in providing complex coordination movements and its role in cyclic locomotion and its influence on the energy capabilities of the autonomic nervous system are underestimated. In parallel, the role of vestibular load on the functional state of the autonomic nervous system as a factor influencing the organism is being investigated.

The aim is to analyze the information of modern scientific literature regarding the influence of vestibular-sensory load on the vegetative reactions of a person.

It is shown that a complex of the most important nervous formations is invariably activated when vestibular stimulation is applied, and each of them has a certain function in the overall integrated activity of the brain as a whole system. The analyzed available results indicate a significant role of the vestibular system in the organization of homeostatic processes, the essence of which is to bring the internal environment of the organism and its biologically adequate spatial position to mutual compliance.

Knowledge of a sufficient level of vestibular stability proves that it is an important factor in the formation of an adequate adaptive response on the part of central hemodynamics, and the nervous system manifests itself as a single unit due to reflex mechanisms of various complexity, which are accordingly closed at different levels.

Key words: vestibular sensory load, homeostatic processes, autonomic reactions, vestibular analyzer, cardiovascular system, autonomic nervous system.

Connection of the publication with planned research works.

The work is a fragment of the research project of the National University of Physical Education and Sports of Ukraine «The influence of exogenous and endogenous factors on the course of adaptive reactions of the body to physical exertion of different intensities» (state registration number 012U108187).

Introduction.

The sensory system that participates in maintaining balance and provides regulatory systems with information about the position of the body in space is the vestibular sensory system. The sensory stimulus perceived by the vestibular system is the acceleration that occurs during organism and head movements. The receptors of the vestibular system are located in a special organ – the vestibular apparatus. In the process of human evolution, extremely sophisticated mechanisms of sensory analyzers were formed, aimed at developing the ability to receive more and more information about the environment, to analyze in more and more detail the signs of complex stimuli, identifying from them those that determine adaptive behavior and orientation in space. In the conditions of Earth's gravity, an important role in the

processes of intersensory integration and orientation in space belongs to the vestibular analyzer [1].

In a complete organism, the vestibular apparatus, which is integrated by the nervous system with other subsystems into a single functional complex and is connected in the form of a peripheral sensor with the external environment, can be considered as a dynamic system characterized by the accumulation and expenditure of stimulus energy and the transition from one state to another under the influence of the control information circulating in it [2, 3].

In works on the theory and physiology of sports, great importance is attached to the vestibular analyzer in providing complex coordination movements and its role in cyclic locomotion and its influence on the energy capabilities of the autonomic nervous system are underestimated [4-6]. In parallel, the role of vestibular load on the functional state of the autonomic nervous system as a factor influencing the organism is being investigated [7].

The aim of the study.

To analyze the information of modern scientific literature regarding the influence of vestibular-sensory load on the vegetative reactions of a person.

Main part.

Since the end of the 19th century, fairly large-scale studies of the nervous pathway of the emergence of vestibular-vegetative reactions have been conducted [8]. This pathway connects the ventral part of the medial vestibular nucleus, the autonomic nuclei of the hypothalamus and medulla oblongata. However, it is still emphasized that vestibular-vegetative connections and the development of the corresponding syndromes are the result of more complex central correlations of the vestibular apparatus, the problem of which is still far from being solved [9-12].

It should be noted that unlike direct vestibulo-somatic connections, vestibulo-vegetative correlations are mediated through complex integrative and regulatory systems, such as: cerebellum, reticular formation, limbic system, thalamus, cerebral cortex. This entire complex of the most important nervous formations is invariably activated when vestibular stimulation is applied, and each of them carries a certain function in the overall integrated activity of the brain as a whole system [13, 14].

Formation of vestibulo-vegetative and vestibulo-somatic reactions.

The labyrinth is connected to the cerebellum both through the primary vestibular fibers and indirectly through the vestibular nuclei. In addition, the presence of fairly close connections between the cerebellum and the autonomic nervous system has been proven. The main role of the cerebellum comes down to the adaptive and trophic effect on the entire central nervous system. The sphere of influence of the cerebellum extends to both the vegetative system and the afferent system: the cerebellum can stabilize the influence on numerous reflex functions. Moreover, it was established that the nature of the influence of the cerebellum largely depends on the individual typological features of the organism [14, 15].

Therefore, the cerebellum affects various departments of the autonomic nervous system, including various central departments of the brain; in general, the role of the cerebellum is to establish a balance between inhibitory and excitatory processes in motor, sensory, and autonomic function – vestibular impulses entering the cerebellum from the vestibular nuclei serve as information for starting these processes under the action of accelerations [16].

Vestibular-reticular relations are an indispensable component of all vestibular reactions, and primarily vegetative ones. The reticular formation, located in the brain stem, exerts an ascending and descending influence, respectively, on the higher regions of the brain and the spinal cord [17-19]. It is supported by a continuous flow of afferent impulses entering the reticular formation along collagen fibers from the sensory conductive pathways that go to the cerebral cortex. It was established [20, 21] that the decisive role in maintaining the activity of the reticular formation belongs to the influence of the vestibular apparatus, the cerebellum and the cortex of the large hemispheres.

Violation of the vestibular apparatus generates a so-called primary response in a specific projection zone of the cortex. Following the primary response, a new wave of excitation appears in the cortex, which is called the "secondary response." It is characterized by a large amplitude and duration and is registered "diffusely" in

many points of the cortex of the large hemispheres. Later studies showed that impulses capturing the primary response go to the cerebral cortex along specific afferent fibers (media loop, lateral group of thalamic nuclei). The emergence of a "secondary response" is ensured by conduction of excitation through the reticular formation and nonspecific nuclei of the thalamus [22, 23].

Vestibular impulses, activating reticular mechanisms, influence the cortex of the large hemispheres and nonspecific thalamic nuclei. Central vestibulovegetative connections are distinguished, which become stereotyped in sports activities with constant vestibular loads. Developing in response to the action of vestibular irritation, the character of the generalized reaction of the brain is largely determined by the functional state of the reticular formation and the presence or absence of "competing afferentation". For example, afferent flows from working muscles, ligaments, tendons. The functional state of the ascending activating systems of the brain largely depends on humoral irritations, to which the reticular formation is highly sensitive [24-27]. This circumstance indicates a large share of the formation's participation in the regulation of a number of vegetative functions.

The role of the hypothalamic-pituitary complex consists in the coordination and integration of nervous and hormonal regulatory mechanisms, which ensures the preservation or restoration of homeostasis [28, 29]. Among the afferent connections of the hypothalamus, the most important for vestibulovegetative correlations may be: diffuse descending connections from all nuclei of the hypothalamic region, especially from the lateral and rear, to the lower sympathetic formations and nodes; hypothalamic-pituitary connections that provide regulation of pituitary functions. Based on experimental studies, it was established that the hypothalamus provides regulation of many organism systems [30-32]. Its functions include the regulation of the cardiovascular and respiratory systems, functions of the gastrointestinal tract and urination, body temperature, water-salt, protein, carbohydrate and fat metabolism, regulation of the permeability of vessel walls and interstitial membranes.

Connections of the vestibular system with the hypothalamus and activation of the latter under the influence of vestibular afferentation determine a diverse complex of vestibulo-vegetative reactions, which under optimal conditions meets the compensatory requirements of the organism [19, 33]. This compensation is carried out through vegetative-somatic correlations that ensure the required level of energy expenditure and effective effectors and the proper functioning of sensorimotor mechanisms involved in the specific analysis of the spatial position and its correction.

With sufficient intensity and duration of the action of vestibular stimuli, for example, sign-changing accelerations, the participation of vegetative and especially humoral components in the reaction response increases sharply, and their role in the further management of body functions may turn out to be leading [34, 35].

On the basis of the information obtained at the present time, the functional connections of the vestibular system, which include the most important nervous and endocrine formations that ensure the vital activity of the body, have become clearer. Their breadth indicates the

significant role of the vestibular system in the organization of homeostatic processes, the essence of which is to bring the "internal environment" of the body into mutual conformity with its biologically adequate spatial position, which is undoubtedly relevant in sports activities [36-39].

The influence of vestibular loads on the functional capabilities of the organism's physiological systems.

Information about the dynamics of changes in various physiological processes in the body is based on numerous experimental and clinical data [40-42], reflecting those processes that occur in the body during a single action of a vestibular stimulus (the physiological limit of response) or during its long and intense action, which leads to "pathological" motion sickness syndrome.

The vestibular stimulus, spreading in specific and non-specific ways, through the cortex of the large hemispheres and the limbic system, through the cerebellum and the reticular formation, ultimately reaches the posterior hypothalamus. From here, through the abdominal nerves, the impulse reaches the cortex of the adrenal glands, which releases adrenaline into the blood.

This process constitutes the first phase of the adaptation reaction – the transformation of a nervous signal into a hormonal one, which provides an emergency response of the autonomic nervous system to a temporary vestibular stimulus. Adrenaline expands the vessels of the heart, brain and lungs, narrows the vessels of the skin and internal organs, especially the digestive ones, as a result of which there is a redistribution of the blood volume, which is beneficial for the performance of various motor reactions that accompany the vestibular effect. Adrenaline mobilizes reserves of sugar from the liver and fatty acids from fat depots and thereby improves the nutrition of the nervous and muscular system. As a result, this whole complex of reactions leads to an increase in body temperature, creating optimal conditions for the flow of chemical reactions. Finally, adrenaline dramatically increases the heart's ability to absorb oxygen. Adrenaline, in addition, affecting the reticular formation and the cortex of the large hemispheres, maintains a state of excitement in them. Being rapidly destroyed in the blood by amine oxidase, adrenaline, however, "manages" to give a new stimulus to the hypothalamic-pituitary system, resulting in the release of adrenocorticotrophic hormone from the pituitary gland, which, acting on the cortex of the adrenal glands, ultimately stimulates the formation of a complex of corticosteroids, the main of which is cortisol [43, 44].

The formation of this hormone begins the second phase of the transformation of the incoming vestibular signal – the hormone forms a general protective reaction of the body, necessary for more or less prolonged vestibular effects. but the effect of cortisol is much longer. In particular, cortisol stimulates the delivery of energy materials to tissues, converting proteins into sugar, causing hyperglycemia. This fact is very important, because in the process of acceleration on the body during forced active motor reactions aimed at maintaining equilibrium in these conditions, sugar does not come from the outside, and reserves of reserve sugar – glycogen – are limited [45, 46].

Vegetative reactions that occur during pumping can be attributed to the general non-specific adaptation syn-

drome, in addition, during the action of accelerations, reliable shifts in the blood coagulation regulation system are noted [47-49], for example, with significant angular accelerations.

The reaction of the gastrointestinal tract in response to the long-term effect of sign-changing accelerations concerns the digestive function: appetite is suppressed, the function of the glandular apparatus is suppressed, the sensitivity of the vomiting center increases, and the contents of the stomach, due to its inertia, are an additional stimulus for the receptors of the gastrointestinal tract. Most often, the symptom complex of motion sickness occurs during passive oscillations, when the body remains passive in conditions that require the active function of all adaptive systems and, first of all, the motor system. And it is precisely this realization that is the "goal" of adaptation. Therefore, motion sickness, in general, should be recognized as a phenomenon that occurs in artificially created "abnormal" conditions, to which the organism can respond only with non-specific adaptation mechanisms [50, 51].

The influence of vestibular load on the function of the cardiovascular system.

One of the most reactive systems that actively responds to any functional test is the cardiovascular system. Vestibular load is a functional test capable of significantly changing the indicators of the cardiovascular system. However, the indicators that characterize its work do not change in the same way. Under the influence of vestibular stimuli, indicators of cardiac performance, such as heart rate, blood pressure, cardiac stroke volume, and cardiac output, change more clearly [52, 53]. The state of blood vessels also changes significantly, for example, the tone of vessels and their diameter. But there are indicators that have not yet been sufficiently studied under various vestibular loads. These include the characteristics of the phase activity of the heart. A number of researchers [54, 55] indicate that there are opposing views on the assessment of the values of such indicators as the phase of blood expulsion, the phase of isovolumetric increase in intraventricular pressure, etc. At the same time, in our opinion, the study of the phasic activity of the heart under non-specific loads, which include vestibular loads, has both theoretical and practical significance, in particular in sports physiology and medicine.

A number of works show that in sports that require high requirements for the level of coordination of movements and balance, multiple unidirectional and combined vestibular loads have an intense effect on the afferent apparatus of the vestibular analyzer, which can lead to the development of protective inhibition in the NA and, as a result, to a violation of the pattern vestibulo-visceral reactions [56]. These factors can cause serious functional disorders of the cardiovascular system, damage the activity of visual and vestibular analyzers [57]. Such powerful exteroception leads to the discoordination of afferent vestibular and central integrative flows, which forms a complex of various maladaptive states of a visceral and somatic nature: first of all, the emergency adaptive reactions of the cardiovascular and respiratory systems are disturbed. Vestibular loads disrupt not only visceral reactions, but also the tone of translational body and conduction muscles in athletes [58, 59].

In addition, it is shown that the vestibular nuclei are connected with the nuclei of the vagus nerve, and this vestibulo-vegetative pathway provides chronotropic and isotropic effects on the structures of the cardiovascular system under the action of accelerations. Such reactions are initiated in the receptors of the vestibular apparatus and by afferent projections reach the vestibular nuclei (Bekhtereva and Schwalbe), from which they are transmitted to the vasomotor center of the medulla oblongata and autonomic centers of the hypothalamic region. Efferent impulses from these centers, in turn, modulate the work of the conduction system of the heart, involving the reflex circuits of the myocardium and blood vessels [60, 61]. The relationship between the tone of the paravertebral muscles of the cervical and thoracic region and the functional indicators of the cardio-respiratory system during physical exertion was also revealed. It is logical to assume that the combined influence of vestibular and proprioceptive afferentation creates conditions for the integrative interaction of these flows at different levels of central and vegetative projections on the conduction system of the heart [62]. Harmonization of the interaction of these pathways in the area of cardiovascular reflexogenic zones can be a corrective factor that minimizes the severity of maladaptive effects of vestibular loads on the state of the cardiovascular system.

It was established that the assessment of vestibular stability has a direct dependence on the growth of a person's training. Recently, considerable attention of researchers has been drawn to the study of the relationship between the level of vestibular resistance and the response of the cardiovascular system to vestibular stimuli. Moreover, they believe that a sufficient level of vestibular stability is an important factor in the formation of an adequate adaptive response from the side of central hemodynamics [63, 64].

The influence of vestibular-sensory load on the function of the nervous system.

The labyrinth is connected to the cerebellum both through the primary vestibular fibers and indirectly through the vestibular nuclei. It was experimentally proven that after decerebration animals do not experience vomiting during motion sickness, which is in good agreement with the information about the existence of fairly close connections between the cerebellum and the autonomic nervous system. In the genesis of the sympathocomplex of motion sickness, the cerebral cortex has an inhibitory effect on vestibulo-vegetative reactions.

According to the classic studies of L.A. Orbeli [65], the main role of the cerebellum is reduced to the adaptive and trophic effect on the entire central nervous system. The sphere of influence of the cerebellum is not limited to only one motor function, but extends to both the autonomic and afferent nervous systems. Moreover, it was established that the nature of vegetative influences largely depends on the individual typological characteristics of the organism [66, 67].

Experiments on the removal of the cerebellum, in which distinct changes in a number of reflex functions were observed (tetanic contraction of muscles, hair and tendon reflexes of the extremities, changes in sensory and motor chronaxia, etc.) testify to the connections of the cerebellum with the autonomic nervous system. In experiments with irritation of the cerebellum, auto-

nomic reactions such as pupil dilation and exophthalmos were found, which disappeared after cutting the cervical sympathetic nerve that innervates the eyes [68].

The reproduction of the amount of effort that develops is a complex physiological characteristic that allows you to determine the accuracy of the neuromuscular sensation that occurs as a result of irritation of the vestibular apparatus. When the vestibular analyzer is excited, somatic reactions occur (on the basis of vestibulo-spinal nerve connections) that contribute to the redistribution of muscle tone and constant maintenance of the body's balance in space. They are carried out with the participation of motor centers of the brain stem, cerebellum, thalamus and post-central gyrus of the cortex of the large hemispheres, where orientation in space is realized. Irritation of the otolith apparatus inhibits the manifestations of nystagmus and activates the reflexes of transversely striated muscles [69].

It should be emphasized once again that the role of the cerebellum is to establish a balance between inhibitory and excitatory processes in motor, sensory and autonomic function. Vestibular impulses sent to the cerebellum from the vestibular nuclei serve as information for starting these processes under the action of accelerations. Further expression of cerebellar effects is determined by typological features formed by a complex of systems from the hypothalamus to the cerebral cortex.

Classical studies of M.O. Aghajanyan showed [70] that adrenocorticotrophic hormone is produced in response to various "stress stimuli" that reach the hypothalamus through the central part of the reticular formation, as well as as a result of "mental stress", which apparently involves corticofugal or limbic projection pathways to the anterior part of the brainstem. The release of adrenocorticotrophic hormone can be caused by adrenaline circulating in the blood, which increases the level of background activity of the posterior hypothalamus. Thus, the stress effect, reaching the hypothalamus, includes the entire complex of protective and restorative homeostatic reactions.

The affiliation of some nuclear formations of the hypothalamic region to the reticular formation of the brain stem and the important role of the hypothalamic nuclei for its activity have been established. Thus, it is shown that, being the center of neurohumoral regulation, the nuclei of the hypothalamus exert influence of the nervous system on humoral functions and humoral influences on the function of the nervous system. Excessive vestibular irritation, which leads to the sympathocomplex of motion sickness, is a typical stress factor that causes reactions in the organism characteristic of this factor, including reactions of an emotional nature [14, 71].

Especially important importance is given to the issue of studying the typological features of vestibular functions in athletes in connection with the formed stereotype of the relationship of the vestibular analyzer with other sensory systems under the influence of the training process. Moreover, it is believed that the functional state of the vestibular analyzer, taking into account its connection with all sensory systems, including visceral ones, significantly affects the physiological state of the body as a whole [72]. The negative components of the complex of physiological effects of vestibular loads, along with changes in the activity of visceral systems (vi-

olation of urgent adaptive reactions of the respiratory and cardiovascular systems), include general inhibition of the central nervous system and deterioration of cognitive functions of the brain [73, 74].

It should be especially emphasized that in functional restructuring, aimed at the development and strengthening of adaptive and compensatory reactions and mechanisms, aimed at increasing the working capacity of the organism and increasing the efficiency of the functioning of the systems responsible for these processes, the nervous system manifests itself as a single entity as a result of reflex mechanisms of various complexity, which are respectively closed at its different levels: 1) autonomic ganglia; 2) integrative-coordinating apparatus of the spinal cord; 3) analyzer-coordinator apparatus of various analyzers; 4) a system of analyzers, including the vestibular apparatus [75, 76]. The formation of adaptation is physiologically connected with the search for a model of the compensatory mechanism, the newest ways of increasing its efficiency. This fully applies to vestibular loads, which play an important, and sometimes prominent, role in planning the training process of sportsmen's.

Conclusions.

It is shown that the entire complex of the most important nervous formations is invariably activated

when vestibular stimulation is applied, and each of them has a certain function in the overall integrated activity of the brain as a whole system. The analyzed available results indicate a significant role of the vestibular system in the organization of homeostatic processes, the essence of which is to bring the internal environment of the organism and its biologically adequate spatial position to mutual compliance. It has been proven that a sufficient level of vestibular stability is an important factor in the formation of an adequate adaptive response on the part of central hemodynamics, and the nervous system manifests itself as a single entity due to reflex mechanisms of various complexity, which are closed at different levels.

Prospects for further research.

A more thorough study of the vestibular-sensory load on autonomic reactions will make the functional connections of the vestibular system, which include the most important nervous and endocrine formations that ensure the vital activity of the body, which is undoubtedly relevant in sports activities and, in the end, can play an important role, more clearly in planning the training process of sportsmen's.

DOI 10.29254/2077-4214-2024-4-175-91-102

УДК 612.881/.886-053

Пастухова В. А., Ширай Т. В.

ВПЛИВ ВЕСТИБУЛЯРНО-СЕНСОРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВЕГЕТАТИВНІ РЕАКЦІЇ

Національний університет фізичного виховання і спорту України (м. Київ, Україна)

Pastuhova_V@ukr.net

В роботах з теорії та фізіології спорту, велике значення приділяється вестибулярному аналізатору в забезпеченні складнокоординаційних рухів і недооцінюється його роль в циклічних локомоціях та його вплив на енергетичні можливості вегетативної нервової системи. Паралельно досліджують роль вестибулярного навантаження на функціональний стан вегетативної нервової системи, як фактора впливу на організм.

Мета - проаналізувати відомості сучасної наукової літератури щодо впливу вестибулярно-сенсорного навантаження на вегетативні реакції людини.

Показано, що комплекс найважливіших нервових утворень незмінно приводиться в дію при застосуванні вестибулярного подразнення, причому кожне з них несе певну функцію в загальній інтегральній діяльності мозку як цілісної системи. Проаналізовані наявні результати вказують на значну роль вестибулярної системи в організації гомеостатичних процесів, сутність яких полягає у приведенні до взаємної відповідності внутрішнього середовища організму і його біологічно адекватного просторового положення.

Знання про достатній рівень вестибулярної стійкості доводить, що він є важливим фактором у формуванні адекватної адаптаційної відповіді з боку центральної гемодинаміки, причому нервова система проявляється як єдине ціле внаслідок рефлексорних механізмів різної складності, що відповідно замикаються на різних її рівнях.

Ключові слова: вестибулярно-сенсорне навантаження, гомеостатичні процеси, вегетативні реакції, вестибулярний аналізатор, серцево-судинна система, вегетативна нервова система.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Робота є фрагментом НДР Національного університету фізичного виховання і спорту України «Вплив екзогенних та ендогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (державний реєстраційний номер 012U108187).

Вступ.

Сенсорна система, яка бере участь у підтриманні рівноваги і постачає регуляторним системам інформацію про положення тіла в просторі – вестибулярна сенсорна система. Сенсорним стимулом, який сприймає вестибулярна система, є прискорення, що виникає під час рухів тіла й голови. Рецептори вестибулярної системи розміщуються у спеціальному

органі – вестибулярному апараті. У процесі еволюції людини сформувалися вкрай витончені механізми сенсорних аналізаторів, спрямовані на розвиток здатності отримувати все більшу інформацію про навколишнє середовище, все більш детально аналізувати ознаки складних подразників, виявляючи з них такі, які визначають адаптивну поведінку і орієнтацію в просторі. В умовах земної гравітації важлива роль у процесах міжсенсорних інтеграції та орієнтації в просторі належить саме вестибулярному аналізатору [1].

В цілісному організмі вестибулярний апарат, що інтегрований нервовою системою з іншими підсистемами в єдиний функціональний комплекс і пов'язаний у вигляді периферичного датчика з зовнішнім середовищем, можна розглядати як динамічну систему, для якої характерно накопичення і витрачання енергії подразника і перехід з одного стану в інший під впливом циркулюючої в ній управляючої інформації [2, 3].

В роботах з теорії та фізіології спорту, велике значення приділяється вестибулярному аналізатору в забезпеченні складнокоординатних рухів і недооцінюється його роль в циклічних локомоціях та його вплив на енергетичні можливості вегетативної нервової системи [4-6]. Паралельно досліджують роль вестибулярного навантаження на функціональний стан вегетативної нервової системи, як фактора впливу на організм [7].

Мета дослідження.

Проаналізувати відомості сучасної наукової літератури щодо впливу вестибулярно-сенсорного навантаження на вегетативні реакції людини.

Основна частина.

З кінця XIX сторіччя проводилися досить широкомасштабні дослідження нервового шляху виникнення вестибуло-вегетативних реакцій [8]. Цей шлях поєднує центральний відділ медіального вестибулярного ядра, вегетативні ядра гіпоталамуса і довгастого мозку. Однак і натеper підкреслюється, що вестибуло-вегетативні зв'язки та розвиток відповідних синдромів є наслідком більш складних центральних кореляцій вестибулярного апарату, проблема яких і нині далека від свого вирішення [9-12].

Слід зазначити, що на відміну від прямих вестибуло-соматичних зв'язків, вестибуло-вегетативні кореляції опосередковані через складні інтегративні та регуляційні системи, такі, як: мозочок, ретикулярна формація, лімбічна система, таламус, кора головного мозку. Весь цей комплекс найважливіших нервових утворень незмінно приводиться в дію при застосуванні вестибулярного подразнення, причому кожне з них несе певну функцію в загальній інтегральній діяльності мозку як цілісної системи [13, 14].

Формування вестибуло-вегетативних та вестибуло-соматичних реакцій.

Зв'язок лабіринту з мозочком здійснюється як через первинні вестибулярні волокна, так і опосередковано – через вестибулярні ядра. Окрім того, доведена наявність досить тісних зв'язків мозочка з вегетативною нервовою системою. Основна роль мозочка зводиться до адаптаційно-трофічного впливу на всю центральну нервову систему. Сфера впливу мозочка поширюється і на вегетативну систему, і на аферентну систему: мозочок може стабілізувати вплив на численні рефлекторні функції. Причому

встановлено, що характер впливу мозочка значною мірою залежить від індивідуальних типологічних особливостей організму [14, 15].

Отже, мозочок впливає на різні відділи вегетативної нервової системи, включаючи і різні центральні відділи головного мозку; в цілому роль мозочка полягає у встановленні балансу між гальмівними і збудливими процесами в моторній, сенсорній і вегетативній функції – інформацією для запуску цих процесів при дії прискорень слугують вестибулярні імпульси, що надходять в мозочок з вестибулярних ядер [16].

Неодмінним компонентом всіх вестибулярних реакцій, і, перш за все вегетативних, є вестибуло-ретикулярні відносини. Розташована в стовбурі мозку ретикулярна формація здійснює висхідний і спадний вплив відповідно на вище розташовані відділи головного мозку і спинний мозок [17-19]. Він підтримується безперервним потоком аферентних імпульсів, що надходять в ретикулярну формацію по колагеновим волокнам від сенсорних провідних шляхів, що прямують до кори головного мозку. Було встановлено [20, 21], що вирішальна роль у підтримці активності ретикулярної формації належить впливу з боку вестибулярного апарату, мозочка і кори великих півкуль.

Порушення вестибулярного апарату генерує в специфічній проєкційній зоні кори так звану первинну відповідь. Слідом за первинною відповіддю в корі з'являється нова хвиля збудження, що отримала назву «вторинної відповіді». Вона відрізняється великою амплітудою і тривалістю і реєструється «дифузно» у багатьох пунктах кори великих півкуль. Пізніші дослідження показали, що імпульси, що вловлюють первинну відповідь, йдуть до кори мозку за специфічними аферентними волокнами (медіальна петля, латеральна група таламічних ядер). Виникнення «вторинної відповіді» забезпечується проведенням збудження через ретикулярну формацію і неспецифічні ядра таламуса [22, 23].

Вестибулярні імпульси, активізуючи ретикулярні механізми, здійснюють вплив на кору великих півкуль і неспецифічні таламічні ядра. Виділяють центральні вестибуловегетативні зв'язки, які в спортивній діяльності при постійних вестибулярних навантаженнях стають стереотипними. Розвиваючись у відповідь на дію вестибулярного подразнення, характер генералізованої реакції мозку багато в чому визначається функціональним станом ретикулярної формації і наявністю або відсутністю «конкуруючої афферентації». Наприклад, аферентні потоки від працюючих м'язів, зв'язок, сухожилів. Функціональний стан висхідних активуючих систем мозку багато в чому залежить від гуморальних подразнень, відносно яких ретикулярна формація має високу чутливість [24-27]. Ця обставина вказує на велику частку участі формації в регуляції ряду вегетативних функцій.

Роль гіпоталамо-гіпофізарного комплексу полягає в координації та інтеграції нервових і гормональних регуляторних механізмів, чим забезпечується збереження або відновлення гомеостазу [28, 29]. Серед аферентних зв'язків гіпоталамуса найбільш важливе значення для вестибуловегетативних кореляцій можуть мати: дифузні нисхідні зв'язки від всіх ядер гіпоталамічної області, особливо від бічних і задніх, до нижчого симпатичних утворень і вузлів; гіпоталамо-гіпофізарні зв'язки, що забезпечують регуляцію

функцій гіпофіза. На підставі експериментальних досліджень було встановлено, що гіпоталамус забезпечує регуляцію безлічі систем організму [30-32]. До його функцій належать регуляція серцево-судинної і дихальної систем, функцій шлунково-кишкового тракту і сечовиділення, температури тіла, водно-сольового, білкового, вуглеводного і жирового обміну, регуляція проникності стінок судин і міжканинних мембран.

Зв'язки вестибулярної системи з гіпоталамусом і активація останнього під впливом вестибулярної аферентації обумовлюють різноманітний комплекс вестибуло-вегетативних реакцій, який в оптимальних умовах відповідає компенсаторним вимогам організму [19, 33]. Ця компенсація здійснюється шляхом вегетосоматичних кореляцій, що забезпечують необхідний рівень енергетичних витрат і діючих ефektorів і належне функціонування сенсомоторних механізмів, які беруть участь в специфічному аналізі просторового положення і його корекції.

При достатній інтенсивності і тривалості дії вестибулярних подразників, наприклад знакозмінних прискорень, участь вегетативних і особливо гуморальних компонентів у відповідь реакції різко зростає, і їх роль в подальшому управлінні функціями організму може виявитися провідною [34, 35].

На підставі отриманих на теперішній час відомостей, стали більш зрозумілими функціональні зв'язки вестибулярної системи, які охоплюють найважливіші нервові і ендокринні формації, що забезпечують життєдіяльність організму. Їх широта вказує на значну роль вестибулярної системи в організації гомеостатичних процесів, сутність яких полягає у приведенні до взаємної відповідності «внутрішнього середовища» організму і його біологічно адекватного просторового положення, що, безсумнівно, актуально в спортивній діяльності [36-39].

Вплив вестибулярних навантажень на функціональні можливості фізіологічних систем організму.

Відомості про динаміку змін різних фізіологічних процесів в організмі засновані на численних експериментальних та клінічних даних [40-42] відображають ті процеси, які протікають в організмі при одноразовій дії вестибулярного стимулу (фізіологічну межу регування) або при тривалій і інтенсивній його дії, що веде до «патологічного» синдрому заколисування.

Вестибулярний стимул, поширюючись специфічними і неспецифічними шляхами, через кору великих півкуль і лімбічну систему, через мозочок і ретикулярну формацію, досягає в підсумку заднього гіпоталамуса. Звідси через черевні нерви імпульс досягає кори надниркових залоз, що виділяє в кров адреналін.

Цей процес становить першу фазу адаптаційної реакції – перетворення нервового сигналу в гормональний, що забезпечує екстрену реакцію вегетативної нервової системи на тимчасовий вестибулярний стимул. Адреналін розширює судини серця, мозку і легень, звужує судини шкіри і внутрішніх органів, особливо травних, внаслідок чого відбувається перерозподіл обсягу крові, вигідний для виконання різних рухових реакцій, які супроводжують вестибулярний вплив. Адреналін мобілізує запаси цукру з печінки і жирних кислот з жирових депо і тим покращує живлення нервової і м'язової системи. Вес

цей комплекс реакцій в результаті призводить до підвищення температури тіла, створюючи оптимальні умови для протікання хімічних реакцій. Нарешті, адреналін різко збільшує здатність серця засвоювати кисень. Адреналін, крім того, впливаючи на ретикулярну формацію і кору великих півкуль, підтримує в них стан збудження. Швидко руйнуючись в крові аміноксидазою, адреналін, проте, «встигає» дати новий стимул гіпоталамо-гіпофізарній системі, в результаті чого з гіпофіза виділяється адренокортикотропний гормон, який, діючи на кору надниркових залоз, стимулює в останній утворення комплексу кортикостероїдів, головним серед яких є кортизол [43, 44].

Утворенням цього гормону починається друга фаза перетворення вхідного вестибулярного сигналу – гормон формує загальну захисну реакцію організму, необхідну при більш-менш тривалих вестибулярних впливах. але дія кортизолу значно довша. Зокрема, кортизол стимулює доставку енергетичних матеріалів тканинам, перетворюючи білки в цукор, викликаючи гіперглікемію. Цей факт дуже важливий, позаяк в процесі дії на організм прискорень при вимушених активних рухових реакціях, спрямованих на збереження в цих умовах рівноваги, цукор ззовні не надходить, а запаси резервного цукру – глікогену – обмежені [45, 46].

Вегетативні реакції, які проявляються при закачуванні, можуть бути віднесені до загального неспецифічного синдрому адаптації, крім того, при дії прискорень відзначаються достовірні зрушення в системі регуляції згортання крові [47-49], наприклад, при значних кутових прискореннях.

Реакція шлунково-кишкового тракту у відповідь на тривалу дію знакозмінних прискорень стосується функції травлення: пригнічується апетит, функція залозистого апарату, підвищується чутливість блювотного центру, і вміст шлунка в силу своєї інерційності є додатковим подразником для рецепторів шлунково-кишкового тракту. Найчастіше симптомокомплекс заколисування виникає при пасивних коливаннях, коли організм в умовах, які вимагають активної функції всіх пристосувальних систем і, в першу чергу, рухової системи, залишається пасивним. А саме ця реалізація і є «метою» адаптації. Тому заколисування, загалом, слід визнати як феномен, що виникає в штучно створених «аномальних» умовах, на які організм може відповідати лише неспецифічними адаптаційними механізмами [50, 51].

Вплив вестибулярного навантаження на функцію серцево-судинної системи.

Однією з найреактивніших систем, яка активно відповідає на будь яку функціональну пробу є серцево-судина система. Вестибулярне навантаження, є функціональною пробою спроможною суттєво змінювати показники серцево-судинної системи. Але, показники які характеризують її роботу змінюються не однаково. Під впливом вестибулярних подразнень виразніше змінюються показники продуктивності серця, такі як частота серцевих скорочень, артеріальний тиск, ударний об'єм серця, серцевий викид [52, 53]. Також суттєво змінюється й стан кровоносних судин, наприклад, тонус судин та їх діаметр. Але є показники які ще не достатньо вивчені при різних вестибулярних навантаженнях. До таких відносять, характеристики фазової діяльності серця. Ряд

дослідників [54, 55] вказує що є протилежні погляди в оцінці значень таких показників, як фаза вигнання крові, фаза ізоволюметричного збільшення внутрішньолучкового тиску тощо. При цьому, на наш погляд, вивчення фазової діяльності серця при неспецифічних навантаженнях, до яких відносять і вестибулярні, має як теоретичне, так і практичне значення, зокрема у спортивній фізіології та медицині.

Рядом робіт показано, що у видах спорту, котрі вимагають високі вимоги до рівня координації рухів та рівноваги множинні односпрямовані та комбіновані вестибулярні навантаження справляють інтенсивний вплив на аферентний апарат вестибулярного аналізатора, що може призвести до розвитку охоронного гальмування у НС і, як наслідок, порушення патерну вестибуло-вісцеральних реакцій [56]. Ці фактори можуть спричинити серйозні функціональні розлади серцево-судинної системи, пошкодити діяльність зорового та вестибулярного аналізаторів [57]. Така потужна екстерорецепція призводить до дискоординації аферентних вестибулярних та центральних інтегративних потоків, що формує комплекс різного роду дезадаптивних станів вісцерального і соматичного характеру: в першу чергу порушуються екстрені адаптивні реакції серцево-судинної та дихальної систем. Вестибулярні навантаження порушують не тільки вісцеральні реакції, але й тонус поступальних корпусних та провідних м'язів у спортсменів [58, 59].

Окрім того показано, що вестибулярні ядра пов'язані з ядрами блукаючого нерва, і цим вестибуло-вегетативним шляхом забезпечуються хронотропні та ізотропні впливи на структуру серцево-судинної системи при дії прискорень. Такі реакції ініціюються в рецепторах вестибулярного апарату і за аферентними проекціями досягають вестибулярних ядер (Бехтерева та Швальбе), від них передаються у судинноруховий центр довгастого мозку та вегетативні центри гіпоталамічної області. Еферентні імпульси від цих центрів, у свою чергу, модулюють роботу провідної системи серця, залучаючи рефлекторні контури міокарду та судин [60, 61]. Також виявлено залежність між тонусом паравертебральних м'язів шийно-грудної області та функціональними показниками кардіо-респіраторної системи при фізичних навантаженнях. Логічно припустити, що при сумісному впливі вестибулярної та пропріоцептивної аферентації формуються умови для інтегративної взаємодії цих потоків на різних рівнях центральних та вегетативних проекцій на провідну систему серця [62]. Гармонізація взаємодії цих шляхів в області серцево-судинних рефлексогенних зон може бути коригуючим фактором, що мінімізує вираженість дезадаптивних впливів вестибулярних навантажень на стан кардіо-васкулярної системи.

Встановлено, що оцінка вестибулярної стійкості має пряму залежність від зростання тренуваності людини. Останнім часом досить значна увага дослідників привертається до вивчення взаємозв'язку рівня вестибулярної стійкості та реакції серцево-судинної системи на вестибулярні подразники. Причому вважають, що достатній рівень вестибулярної стійкості є важливим фактором у формуванні адекватної адаптаційної відповіді з боку центральної гемодинаміки [63, 64].

Вплив вестибулярно-сенсрного навантаження на функцію нервової системи.

Зв'язок лабіринту з мозочком здійснюється як через первинні вестибулярні волокна, так і опосередковано – через вестибулярні ядра. Експериментально було доведено, що після децеребрації у тварин не спостерігається блювота при заколисуванні, що добре узгоджується з відомостями про наявність досить тісних зв'язків мозочка з вегетативною нервовою системою. У генезі сімпатокомплекса заколисування кора головного мозку надає гальмівний вплив на вестибуловегетативні реакції.

За класичними дослідженнями Л.А. Орбелі [65], основна роль мозочка зводиться до адаптаційно-трофічного впливу на всю центральну нервову систему. Сфера впливу мозочка не обмежується тільки однією руховою функцією, але поширюється і на вегетативну, і на аферентну нервову систему. Причому встановлено, що характер вегетативних впливів значною мірою залежить від індивідуальних типологічних особливостей організму [66, 67].

Експерименти з видалення мозочка, при яких спостерігалися виразні зміни ряду рефлекторних функцій (тетанічне скорочення м'язів, волоскові і сухожилісні рефлекси кінцівок, зміна чутливої і моторної хронаксії й ін.) свідчать про зв'язки мозочка з вегетативною нервовою системою. В дослідіх з подразненням мозочка були виявлені такі вегетативні реакції, як розширення зіниці і екзофтальм, які зникали після перерізання шийного симпатичного нерва, що іннервує очі [68, 69].

Відтворення величини зусилля, що розвивається – це комплексна фізіологічна характеристика, яка дає змогу визначити точність нервово-м'язового відчуття, яке виникає внаслідок подразнення вестибулярного апарату. При збудженні вестибулярного аналізатора виникають соматичні реакції (на основі вестибуло-спинальних нервових зв'язків), що сприяють перерозподілу тонусу м'язів і постійній підтримці рівноваги тіла в просторі. Вони здійснюються за участю рухових центрів стовбура мозку, мозочка, таламуса й пост-центральної звивини кори великих півкуль, де усвідомлюється орієнтація в просторі. Подразнення отолітового апарату гальмує прояви ністагму та активує рефлекси поперечно посмугованих м'язів [70].

Слід ще раз підкреслити, що роль мозочка полягає у встановленні балансу між гальмівними і збудливими процесами в моторній, сенсорній і вегетативній функції. Інформацією для запуску цих процесів при дії прискорень слугують вестибулярні імпульси, що надходять в мозочок з вестибулярних ядер. Подальший вираз мозочкових ефектів визначається типологічними особливостями, що формуються комплексом систем від гіпоталамуса до кори головного мозку.

Класичними дослідженнями М.О. Агаджаняна показано [70], що адренкортикотропний гормон виробляється у відповідь на різні «стрес-подразнення», що досягають гіпоталамуса через центральну частину ретикулярної формації, а також в результаті «психічного стресу», у виникненні якого, очевидно, беруть участь кортикофугальні або лімбічні проекційні шляхи до передньої частини стовбура мозку. Виділення адренкортикотропного гормону може бути викликано циркулюючим в крові адреналіном, який підвищує рівень фонові активності заднього гіпота-

ламуса. Таким чином, стресова дія, досягаючи гіпоталамуса, включає весь комплекс захисно-відновних гомеостатичних реакцій.

Встановлена приналежність деяких ядерних утворень гіпоталамічної області до ретикулярної формації мозкового стовбура і важливу роль ядер гіпоталамуса для її діяльності. Так показано, що, будучи центром нейрогуморальних регуляцій, ядра гіпоталамуса здійснюють вплив нервової системи на гуморальні функції і гуморальні впливи на функцію нервової системи. Надмірне вестибулярне подразнення, що веде до сімпатокомплексу заколисування, є типовим стресовим чинником, що викликає в організмі характерні для дії цього фактора реакції, в тому числі реакції емоційної природи [14, 71].

Особливо важливе значення надається питанню вивчення типологічних особливостей вестибулярних функцій у спортсменів у зв'язку зі сформованим стереотипом взаємин вестибулярного аналізатора з іншими сенсорними системами під впливом тренувального процесу. Причому вважають, що функціональний стан вестибулярного аналізатора, враховуючи його зв'язок з усіма сенсорними системами, в тому числі і вісцеральні, значно впливає на фізіологічний стан організму в цілому [72]. До негативних компонентів комплексу фізіологічних впливів вестибулярних навантажень, поряд зі змінами у діяльності вісцеральних систем (порушення термінових адаптивних реакцій дихальної та серцево-судинної систем), спостерігають загальне гальмування ЦНС та погіршення когнітивних функцій мозку [73,74].

Слід особливо наголосити, що у функціональних перебудовах, спрямованих на розвиток та посилення адаптаційно-компенсаторних реакцій і механізмів, спрямованих на збільшення працездатності організму і підвищення ефективності функціонування систем, що за ці процеси відповідають, нервова система проявляється як єдине ціле внаслідок рефлекторних механізмів різної складності, що відповідно за-

микаються на різних її рівнях: 1) вегетативні ганглії; 2) інтегративнокоординаторний апарат спинного мозку; 3) аналізаторнокоординаторний апарат різних аналізаторів; 4) система аналізаторів, у тому числі й вестибулярний апарат [75, 76]. Формування адаптації фізіологічно пов'язане з пошуком моделі компенсаторного механізму, новітніх шляхів підвищення його ефективності. Повною мірою це стосується і вестибулярних навантажень, котрі відіграють важливу, а подекуди й чільну, роль в плануванні тренувального процесу спортсменів.

Висновки.

Показано, що весь комплекс найважливіших нервових утворень незмінно приводиться в дію при застосуванні вестибулярного подразнення, причому кожне з них несе певну функцію в загальній інтегральній діяльності мозку як цілісної системи. Проаналізовані наявні результати вказують на значну роль вестибулярної системи в організації гомеостатичних процесів, сутність яких полягає у приведенні до взаємної відповідності внутрішнього середовища організму і його біологічно адекватного просторового положення. Доведено, що достатній рівень вестибулярної стійкості є важливим фактором у формуванні адекватної адаптаційної відповіді з боку центральної гемодинаміки, причому нервова система проявляється як єдине ціле внаслідок рефлекторних механізмів різної складності, що відповідно замикаються на різних її рівнях.

Перспективи подальших досліджень.

Більш ґрунтовне вивчення вестибулярно-сенсорного навантаження на вегетативні реакції зробить більш зрозумілими функціональні зв'язки вестибулярної системи, які охоплюють найважливіші нервові і ендокринні формації, котрі забезпечують життєдіяльність організму, що є безсумнівно актуальним в спортивній діяльності і, в решті решт, може відігравати важливу роль в плануванні тренувального процесу спортсменів.

References / Література

1. Kirsch W, Kunde W. On the Role of Interoception in Body and Object Perception: A Multisensory-Integration Account. *Perspect Psychol Sci.* 2023;18(2):321-39. DOI: [10.1177/17456916221096138](https://doi.org/10.1177/17456916221096138).
2. Raphan T. Vestibular, locomotor, and vestibulo-autonomic research: 50 years of collaboration with Bernard Cohen. *J Neurophysiol.* 2020;123(1):329-45. DOI: [10.1152/jn.00485.2019](https://doi.org/10.1152/jn.00485.2019).
3. Diaz-Artiles A, Karmali F. Vestibular Precision at the Level of Perception, Eye Movements, Posture, and Neurons. *Neuroscience.* 2021;468:282-320. DOI: [10.1016/j.neuroscience.2021.05.028](https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2021.05.028).
4. Vadyuk SN, Shmata RM. Do pytannya pro deyaki psykhoфизиологични osoblyvosti osib z pidvyshchenoyu chutlyvistyuu vestibulyarnoho analizatora. *ECPB.* 2020;1(89):66-75. [in Ukrainian].
5. Bunce D, Anstey KJ, Cherbuin N. Cognitive deficits are associated with frontal and temporal lobe white matter lesions in middle-aged adults living in the community. *PLOS ONE.* 2010;5(10):1-8.
6. Madden DJ, Spaniol J, Costello MC. Cerebral white matter integrity mediates adult age differences in cognitive performance. *J. Cogn. Neurosci.* 2009;21(2):289-302.
7. Kleiger RE, Stein PK, Bosner MS, Rottman JN. Time domain measurement of heart rate variability. *Cardiol. Clin.* 2012;10:487-98.
8. Kupchak SV. Anatomiya ta evolyutsiya tsentral'noyi nervovoyi systemy. Ivano-Frankivsk: Prykarpat's'kyi natsional'nyy universytet imeni Vasylia Stefanyka; 2009. 150 s. [in Ukrainian].
9. Holub NV. Anatomiya, fiziologiya ta patologiya orhaniv slukhu ta movlennya. Uman': Vizavi; 2015. 116 s. [in Ukrainian].
10. Neskreb TA, Dobrovol's'ka NO, Ul'yankina OV, Shynshyna SI. Rukhova diyal'nist' yak faktor vyznachennya struktury spetsial'noyi fizychnoyi pidgotovlenosti studentiv-bortsiv. 2020. Dostupno: http://www.rusnauka.com/30_NNM_2012/Sport/1_119590. [in Ukrainian].
11. Conrad J, Baier B, Dieterich M. The role of the thalamus in the human subcortical vestibular system. *J Vestib Res.* 2014;24(5-6):375-85. DOI: [10.3233/VES-140534](https://doi.org/10.3233/VES-140534).
12. Ibitoye RT, Mallas EJ, Bourke NJ, Kaski D, Bronstein AM, Sharp DJ. The human vestibular cortex: functional anatomy of OP2, its connectivity and the effect of vestibular disease. *Cereb Cortex.* 2023;33(3):567-82. DOI: [10.1093/cercor/bhac085](https://doi.org/10.1093/cercor/bhac085).
13. Eggers SD, Zee D. Vertigo and Imbalance: Clinical Neurophysiology of the Vestibular System. *Handbook of Clinical Neurophysiology.* 2010;9:3-575.
14. Balaban CD, Jacob RG, Furman JM. Neurologic bases for comorbidity of balance disorders, anxiety disorders and migraine: neurotherapeutic implication. *Expert Rev. Neurother.* 2011;3:379-94.
15. Lee J, Muzio MR. *Neuroanatomy, Extrapyramidal System.* Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
16. Espinosa-Sanchez JM, Perez-Fernandez N, de Castro F, Batuecas-Caletrio A. Cajal's contributions to vestibular research. *Front Neuroanat.* 2024;18:1476640. DOI: [10.3389/fnana.2024.1476640](https://doi.org/10.3389/fnana.2024.1476640).
17. Morozova OH, Yaroshevs'kyi AA, Zdybs'kyi VY, Lypyn's'ka YAV. Vehoatyvna ta vestibulyarna dysfunktsiya: pytannya komorbidnosti ta ozhlyvosti terapiyi. *Mizhnarodnyy nevrolozhichnyy zhurnal.* 2012;48(2):93-8. [in Ukrainian].

18. Mangold SA, Das JM. Neuroanatomy, Reticular Formation. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
19. Özkan M, Köse B, Algin O, Oğuz S, Erden ME, Çavdar S. Non-motor connections of the pedunculopontine nucleus of the rat and human brain. *Neurosci Lett*. 2022;10(767):136308. DOI: [10.1016/j.neulet.2021.136308](https://doi.org/10.1016/j.neulet.2021.136308).
20. Zyma IH, Piskors'ka NH, Kryzhaniv's'kyi SA. Osoblyvosti dynamiky mozkovoho elektrohenezu lyudyny v stani prolonhovano spokoju v zalezhnosti vid typu yiyi emotsiynoyi reaktsiyi (test Boyko). *Fizyka zhyvoho*. 2010;18(2):127-35. [in Ukrainian].
21. Herreras O, Makarova J. Mechanisms of the negative potential associated with Leão's spreading depolarization: A history of brain electrogenesis. *J. Cereb. Blood. Flow. Metab*. 2020;40(10):1934-52. DOI: [10.1177/0271678X20935998](https://doi.org/10.1177/0271678X20935998).
22. Kim HA, Hong JH, Lee H. Otolith dysfunction in vestibular neuritis: recovery pattern and a predictor of symptom recovery. *Neurology*. 2008;70(4):449-53.
23. Zwerger A, Rettinger N, Frenzel C. A bucket of static vestibular function. *Neurology*. 2009;72(19):1689-92.
24. Khavina IV, Hura TVb Byelyayeva LV. Anatomiya nervovoyi systemy ta vyshchoyi nervovoyi diyal'nosti. Kharkiv: NTU «KHPi»; 2017. 36 s. [in Ukrainian].
25. Khazaal O, Marquez DL, Naqvi IA. Foville Syndrome. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
26. Ugolini G, Prevosto V, Graf W. Ascending vestibular pathways to parietal areas MIP and LIPv and efference copy inputs from the medial reticular formation: Functional frameworks for body representations updating and online movement guidance. *Eur J Neurosci*. 2019;50(6):2988-3013. DOI: [10.1111/ejn.14426](https://doi.org/10.1111/ejn.14426).
27. Shi X, Wei H, Chen Z, Wang J, Qu W, Huang Z, et al. Whole-brain monosynaptic inputs and outputs of glutamatergic neurons of the vestibular nuclei complex in mice. *Hear Res*. 2021;1401:108159. DOI: [10.1016/j.heares.2020.108159](https://doi.org/10.1016/j.heares.2020.108159).
28. McMahon TW, Newman DG. Development of a field-deployable psychomotor vigilance test to monitor helicopter pilot performance. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 2016;87(4):417-22.
29. Rodríguez-Morales P, Franklin RA. Macrophage phenotypes and functions: resolving inflammation and restoring homeostasis. *Trends Immunol*. 2023;44(12):986-98. DOI: [10.1016/j.it.2023.10.004](https://doi.org/10.1016/j.it.2023.10.004).
30. Ize-Ludlow D, Gray J, Sperling MA. Rapid onset obesity with hypothalamic dysfunction, hypoventilation, and autonomic dysregulation presenting in childhood. *Pediatrics*. 2007;120(1):179-88.
31. Botsyurko VI, Kostits'ka IO, Didushko OM. Dysfunktsiya hipotalamusa: etiologiya, klinika, diahnostyka, likuvannya. *Mizhnarodnyy endokrynolohichnyy zhurnal*. 2017;13(4):290-6. [in Ukrainian].
32. Feldt-Rasmussen U, Effraimidis G, Klose M. The hypothalamus-pituitary-thyroid (HPT)-axis and its role in physiology and pathophysiology of other hypothalamus-pituitary functions. *Mol Cell Endocrinol*. 2021;5(525):111173. DOI: [10.1016/j.mce.2021.111173](https://doi.org/10.1016/j.mce.2021.111173).
33. Özkan M, Köse B, Algin O, Oğuz S, Erden ME, Çavdar S. Non-motor connections of the pedunculopontine nucleus of the rat and human brain. *Neurosci Lett*. 2022;767:136308. DOI: [10.1016/j.neulet.2021.136308](https://doi.org/10.1016/j.neulet.2021.136308).
34. Cozma S, Ghiciuc CM, Damian L, Pasquali V, Saponaro A, Lupusoru EC, et al. Distinct activation of the sympathetic adreno-medullary system and hypothalamus pituitary adrenal axis following the caloric vestibular test in healthy subjects. *PLoS One*. 2018;13(3):e0193963. DOI: [10.1371/journal.pone.0193963](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193963).
35. Radtke A, Popov K, Bronstein AM, Gresty MA. Vestibulo-autonomic control in man: Short- and long-latency vestibular effects on cardiovascular function. *J Vestib Res*. 2003;13(1):25-37.
36. Dzyak LA. Kohnityvnyy ta neyrosensornyy defitsyt riznoho henezu: yak ne propustyty holovne. *Ukr. med. chasopys*. 2021;4(144):8-13. [in Ukrainian].
37. Balaban CD. Neurotransmitters in the vestibular system. *Handb Clin Neurol*. 2016;137(41):55. DOI: [10.1016/B978-0-444-63437-5.00003-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63437-5.00003-0).
38. Kachan OA. Uprovadzhennya innovatsiynykh tekhnolohiy u fizkul'turno-ozdorovchu ta sportyvnu diyal'nist' zakladiv osvity. *Slov'yans'k: Vytoky*; 2017. 138 s. [in Ukrainian].
39. Dieterich M, Brandt T. The parietal lobe and the vestibular system. *Handb Clin Neurol*. 2018;151:119-140. DOI: [10.1016/B978-0-444-63622-5.00006-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63622-5.00006-1).
40. Muller M. Mechanical aspects of the semicircular ducts in the vestibular system. *Biol Cybern*. 2020;114(4-5):421-42. DOI: [10.1007/s00422-020-00842-w](https://doi.org/10.1007/s00422-020-00842-w).
41. Forbes PA, Luu BL, Van der Loos HF, Croft EA, Inglis JT, Blouin JS. Transformation of Vestibular Signals for the Control of Standing in Humans. *J Neurosci*. 2016;36(45):11510-11520. DOI: [10.1523/JNEUROSCI.1902-16.2016](https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1902-16.2016).
42. Furman JM, Marcus DA, Balaban CD. Rizatriptan reduces vestibular-induced motion sickness in migraineurs. *J. Headache. Pain*. 2011;12:81-8.
43. Curthoys IS, Grant JW, Burgess AM, Pastras CJ, Brown DJ, Manzari L. Otolithic Receptor Mechanisms for Vestibular-Evoked Myogenic Potentials: A Review. *Front Neurol*. 2018;25(9):366. DOI: [10.3389/fneur.2018.00366](https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00366).
44. Farías-Serratos BM, Lázcano I, Villalobos P, Darras VM, Orozco A. Thyroid hormone deficiency during zebrafish development impairs central nervous system myelination. *PLoS One*. 2021;16(8):e0256207. DOI: [10.1371/journal.pone.0256207](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256207).
45. Noshad S, Ahmed S, Ansari B, Mustafa UH, Saleem Y, Hazrat H. Physiological biomarkers of chronic stress: A systematic review. *Int J Health Sci (Qassim)*. 2021;15(5):46-59.
46. Piddubna AA. Fizychna aktivnist' ta tsukrovyy diabet. Chernivtsi: BDMU; 2021. Dostupno: <https://www.bsmu.edu.ua/blog/fizichna-aktivnist-ta-cukrovij-diabet/>. [in Ukrainian].
47. Kopchak OO. Vikovi osoblyvosti vzayemozvyazku mizh rivnem leptynu ta tyazhkisty kohnityvnykh porushen' u patsiyentiv z khronichnoyu nedostatnistyu mozkovoho krovoobihu ta metabolichnym syndromom. *Mizhnarodnyy nevrolohiychnyy zhurnal*. 2014;63(1):44. [in Ukrainian].
48. Popescu NI, Silasi R, Keshari RS, Gorton A, Burgett T, Zeerleder SS, et al. Peptidoglycan induces disseminated intravascular coagulation in baboons through activation of both coagulation pathways. *Blood*. 2018;132(8):849-60. DOI: [10.1182/blood-2017-10-813618](https://doi.org/10.1182/blood-2017-10-813618).
49. Adlam D, Berrandou TE, Georges A, Nelson CP, Giannoulatos E, Henry J, et al. Genome-wide association meta-analysis of spontaneous coronary artery dissection identifies risk variants and genes related to artery integrity and tissue-mediated coagulation. *Nature Genetics*. 2023;55(6):964-72. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41588-023-01410-1>.
50. Tweet MS, Gulati R, Combaret N, Kadian-Dodov D, Kalman JM, Fatkin D, et al. Genome-wide association meta-analysis of spontaneous coronary artery dissection identifies risk variants and genes related to artery integrity and tissue-mediated coagulation. *Nat Genet*. 2023;55(6):964-72. DOI: [10.1038/s41588-023-01410-1](https://doi.org/10.1038/s41588-023-01410-1).
51. Keshavarz B, Golding JF. Motion sickness: current concepts and management. *Curr Opin Neurol*. 2022;35(1):107-12. DOI: [10.1097/WCO.0000000000001018](https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000001018).
52. Leung AK, Hon KL. Motion sickness: an overview. *Drugs Context*. 2019;8:9-4. DOI: [10.7573/dic.2019-9-4](https://doi.org/10.7573/dic.2019-9-4).
53. Kolesnik YUM. Vestybul'yarna systema, norma ta patolohiya. Zaporizhzhya; 2024. 145 s. [in Ukrainian].
54. Saeed HS, Fergie M, Mey K, West N, Caye-Thomasen P, Nash R, et al. Enlarged Vestibular Aqueduct and Associated Inner Ear Malformations: Hearing Loss Prognostic Factors and Data Modeling from an International Cohort. *J Int Adv Otol*. 2023;19(6):454-60.
55. Afonin VM. Spetsial'na (vestybul'yarna) pidhotovka viyskovosluzhbovtiv. Pedahohika, psykholohiya ta medyko-biolohichni problemy fizychnoho vykhovannya i sportu. 2011;2:7-9. [in Ukrainian].
56. Inui H, Sakamoto T, Ueda K, Ito T, Kitahara T. Volume ratio and distribution rate in patients with orthostatic vertigo/dizziness using MR imaging: a comparison with vertiginous diseases. *Acta Otolaryngol*. 2023;143(8):631-5.
57. Kudryavtseva AS, Amelin AV. Diagnosticheskoe znachenie vestibuliarnykh miogennykh vyzvannykh potentsialov pri raznykh tipakh golovokruzheniya. 2018;118(1):13-17. DOI: [10.17116/nevro2018118113-17](https://doi.org/10.17116/nevro2018118113-17).
58. Boiko NV, Stagnieva IV, Kiselev VV, Stagniev SD. Presbyvestibulopathy in clinical practice. *Adv Gerontol*. 2023;36(6):869-873.
59. Engelen T, Solcà M, Tallon-Baudry C. Interoceptive rhythms in the brain. *Nat Neurosci*. 2023;26(10):1670-84. DOI: [10.1038/s41593-023-01425-1](https://doi.org/10.1038/s41593-023-01425-1).

60. Toussaint B, Heinze J, Stephan KE. A computationally informed distinction of interoception and exteroception. *Neurosci Biobehav Rev*. 2024;159:105608. DOI: [10.1016/j.neubiorev.2024.105608](https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105608).
61. Fairchild G, Hawes DJ, Frick PJ, Copeland WE, Odgers CL, Franke B, et al. Conduct disorder. *Nat Rev Dis Primers*. 2019;5(1):43. DOI: [10.1038/s41572-019-0095-y](https://doi.org/10.1038/s41572-019-0095-y).
62. Sanchez Jimenez JG, De Jesus O. Hypothalamic Dysfunction. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
63. Koz'olkin OA, Reven'ko AB, Myedvedkova CO, Kuznyetsov AA. Sudynni zakhvoryuvannya holovnoho ta spynnoho mozku (diahnostyka, likuvannya ta profilaktyka). Zaporizhzhya: ZDMU; 2017. 120 s. [in Ukrainian].
64. Mykhaylovs'ka NS, Kulynych TO. Reabilitatsiya patsiyentiv iz zakhvoryuvannyamy sertsevo-sudynnoyi systemy v praktytsi simeynoho likarya. Zaporizhzhya: ZDMU; 2021. 188 s. [in Ukrainian].
65. Orbely LA. Lectures on issues of higher nervous activity. M-L.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR; 1945. 206 s.
66. Karlova LV, Gavrilina OG, Alekseeva NV, Peretyatko OV. Typological features of the nervous system of cows depending on the reactivity and stress resistance. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018;8(2):149-59. DOI: [10.15421/2018_322](https://doi.org/10.15421/2018_322).
67. Neurova A, Romanyshyn A. Psykholohiya indyvidual'noyi roboty z viys'kovosluzhbovtamy. Kyiv; 2023. 335 s. [in Ukrainian].
68. Ganesh A, Stahnisch FW. The Gray Degeneration of the Brain and Spinal Cord: A Story of the Once Favored Diagnosis With Subsequent Vessel-Based Etiopathological Studies in Multiple Sclerosis. *J Nerv Ment Dis*. 2019;207(6):505-14. DOI: [10.1097/NMD.0000000000001002](https://doi.org/10.1097/NMD.0000000000001002).
69. Klymenko IS. Medychyny stan postrazhdalikh vnaslidok viyny v Ukraini: fizychno zdorov'ya, medychni problemy ta yikhnyi vplyv na psykhychno zdorov'ya. Naukovy visnyk Uzhhorods'koho natsional'noho universytetu. 2024;3:33-8. [in Ukrainian].
70. Agadzhanian NA. Stress i teoriya adaptatsii. Orenburg: IPK GOU OG; 2005. 263 s.
71. Nesterov VP, Burdygin AI, Ivanov KB, Korotkov SM, Shemarova IV, Nesterov SV. Features of autonomic regulation of the cardiovascular system in human late ontogenesis. *Adv Gerontol*. 2020;33(1):74-81.
72. Huikuri H. The autonomic cardiac nervous system and arrhythmogenesis: risk stratification in the foreseeable future. *Herzschrittmacherther Elektrophysiol*. 2021;32(3):320-322. DOI: [10.1007/s00399-021-00777-0](https://doi.org/10.1007/s00399-021-00777-0).
73. Komisova TYE. Fiziologichni osnovy fizychnoho vykhovannya ta sportu. Kharkiv: Kharkivs'kyi natsional'nyy pedahohichnyy universytet imeni H. S. Skovorody; 2022. 147 s. [in Ukrainian].
74. Liu D, Zhang Y, Cai X, Yang Y, Wang S, Mei L, et al. Associations of 10-year atherosclerotic cardiovascular disease risk scores with cerebral small vessel disease: the Polyvascular Evaluation for Cognitive Impairment and vaScular Events (PRECISE) study. *Age Ageing*. 2024;53(7):afae161. DOI: [10.1093/ageing/afae161](https://doi.org/10.1093/ageing/afae161).
75. Kim KH, Jang SH. Effects of Task-Specific Training after Cognitive Sensorimotor Exercise on Proprioception, Spasticity, and Gait Speed in Stroke Patients: A Randomized Controlled Study. *Medicina (Kaunas)*. 2021;57(10):1098. DOI: [10.3390/medicina57101098](https://doi.org/10.3390/medicina57101098).
76. Marpillat L, Stuhel NM, Keuschler J, Serra-Mestres J, Isetta M. Effects of different antihypertensive medication groups on cognitive function in older patients: A systematic review. *Eur Psychiatry*. 2017;46:1-15. DOI: [10.1016/j.eurpsy.2017.07.015](https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2017.07.015).

ВПЛИВ ВЕСТИБУЛЯРНО-СЕНСОРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВЕГЕТАТИВНІ РЕАКЦІЇ

Пастухова В. А., Ширай Т. В.

Резюме. В цілісному організмі вестибулярний апарат, що інтегрований нервовою системою з іншими підсистемами в єдиний функціональний комплекс і пов'язаний у вигляді периферичного датчика з зовнішнім середовищем, можна розглядати як динамічну систему, для якої характерно накопичення і витрачання енергії подразника і перехід з одного стану в інший під впливом циркулюючої в ній управляючої інформації. Проблема вестибулярної стійкості при подразненні вестибулярного аналізатора є предметом досліджень багатьох науковців. В роботах з теорії та фізіології спорту, велике значення приділяється вестибулярному аналізатору в забезпеченні складнокоординатних рухів і недооцінюється його роль в циклічних локомоціях та його вплив на енергетичні можливості вегетативної нервової системи. Є дані про роль підвищеної вестибулярної чутливості у розвитку артеріальної гіпертензії. Адаптація організму до різних умов перебування тісно пов'язана з реакціями серцево-судинної системи.

На даний час окремі наукові роботи показують важливий вплив індивідуальних типологічних особливостей вищих відділів центральної нервової системи. Паралельно досліджують роль вестибулярного навантаження на функціональний стан вегетативної нервової системи, як фактора впливу на організм. Показано, що достатній рівень вестибулярної стійкості є важливим фактором у формуванні адекватної адаптаційної відповіді з боку центральної гемодинаміки, причому нервова система проявляється як єдине ціле внаслідок рефлекторних механізмів різної складності, що відповідно замикаються на різних її рівнях.

Проте оцінка впливу вестибулярного навантаження у спортсменів із різною вестибулярною чутливістю на вегетативні реакції на даний час потребує вивчення.

Ключові слова: вестибулярно-сенсорне навантаження, гомеостатичні процеси, вегетативні реакції, вестибулярний аналізатор, серцево-судинна система, автономна частина периферичної нервової системи.

INFLUENCE OF VESTIBULAR SENSORY LOAD ON VEGETATIVE REACTIONS

Pastukhova V. A., Shirai T. V.

Abstract. In a complete organism, the vestibular apparatus, which is integrated by the nervous system with other subsystems into a single functional complex and is connected in the form of a peripheral sensor with the external environment, can be considered as a dynamic system characterized by the accumulation and expenditure of stimulus energy and the transition from one state to another under the influence of the control information circulating in it. The problem of vestibular stability during stimulation of the vestibular analyzer is the subject of research by many scientists. In works on the theory and physiology of sports, great importance is attached to the vestibular analyzer in providing complex coordination movements and its role in cyclic locomotion and its influence on the energy capabilities of the autonomic nervous system are underestimated. There is evidence of the role of increased vestibular sensitivity in the development of arterial hypertension. The adaptation of the body to different living conditions is closely related to the reactions of the cardiovascular system.

Currently, some scientific works show an important influence of individual typological features of the higher parts of the central nervous system. In parallel, the role of vestibular load on the functional state of the autonomic nervous system as a factor influencing the organism is being investigated. It is shown that a sufficient level of vestibular stability is an important factor in the formation of an adequate adaptive response on the part of central

hemodynamics, and the nervous system manifests itself as a single entity due to reflex mechanisms of various complexity, which are respectively closed at different levels.

However, the assessment of the impact of vestibular load on autonomic responses in athletes with different vestibular sensitivity currently requires study.

Key words: vestibular sensory load, homeostatic processes, autonomic reactions, vestibular analyzer, cardiovascular system, autonomic nervous system.

ORCID and contributionship / ORCID кожного автора та його внесок до статті:

Pastukhova V. A.: <https://orcid.org/0000-0002-4091-913X>^{AEF}

Shiray T. V.: <https://orcid.org/0009-0008-8452-9767>^{ABD}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest. / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Pastukhova Viktoriia Anatoliivna / Пастухова Вікторія Анатоліївна

National University of Physical Education and Sports of Ukraine / Національний університет фізичного виховання і спорту України

Ukraine, 03680, Kyiv, 1 Fizkultury str. / Адреса: Україна, 03680, м. Київ, вул. Фізкультури 1

Tel.: +380661752387 / Тел.: +380661752387

E-mail: Pastuhova_V@ukr.net

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

Received 24.07.2024 / Стаття надійшла 24.07.2024 року
Accepted 21.11.2024 / Стаття прийнята до друку 21.11.2024 року

DOI 10.29254/2077-4214-2024-4-175-102-112

UDC 616.314-77:616.31-083-071-085

Perepelova T. V.

CONTEXTUAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE USE OF METAL STRUCTURES FOR PROSTHETICS ON THE MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONAL STATE OF THE ORAL CAVITY AS AN IMPORTANT MEDICAL AND SOCIAL PROBLEM OF THE PRESENT

Poltava State Medical University (Poltava, Ukraine)

taniaperepelova@gmail.com

The use of metal structures in dentistry remains a widespread and effective approach to restoring the functionality of the dentoalveolar system, primarily due to the strength, durability and cost-effectiveness of materials such as titanium, cobalt-chromium and nickel-chromium alloys. Nevertheless, using metals is associated with several problems, including the risk of corrosion, allergic reactions, and changes in the oral microbiome that can lead to dysbiosis, galvanosis, periodontitis, and other complications. These problems are further exacerbated by poor oral hygiene and social determinants such as economic inequality and limited access to high-quality dental care.

The historical development of metallic materials in dentistry, from the use of gold to modern alloys, emphasizes the continuous improvement of their biocompatibility. Innovations such as CAD/CAM technology and advances in materials such as titanium and hypoallergenic alloys have helped to reduce risks and improve prosthetic structures. Despite these advances, challenges related to denture adaptation, prevention of galvanic reactions, and maintaining a balanced oral microbiome remain major concerns.

Future research areas are focused on developing new biocompatible materials, minimizing the adverse effects of metals on oral tissues, and raising public awareness. These efforts aim to reduce the incidence of complications, optimize dental practices, and support the implementation of preventive programs that are important for maintaining patients' overall health.

Key words: metal structures, metal alloys, dentistry, oral cavity, biocompatibility, prosthetics, morphofunctional state.

Connection of the publication with planned research works.

The work is a fragment of the complex initiative topic of the Department of Prosthetic Dentistry with Implantology: "Application of the latest technologies for diagnosis and treatment of functional pathology of the dentoalveolar system" (state registration number 0121U113817).

Introduction.

The use of metal structures for prosthetics is one of the most common methods in modern dental practice, which allows for the effective restoration of chewing function, basic aesthetics, and quality of life of patients [1]. Metal bases, such as titanium, cobalt-chromium, chromium-nickel, and stainless steel alloys, are widely used due to their strength, durability, and affordability