

DOI 10.29254/2077-4214-2023-4-171-391-402

UDC 796:004.38:611.1:616.8-009.1:612.821

Luts Yu. P., Lukyantseva H. V., Bakunovskyi O. M., Fedorchuk S. V., Kolosova O. V.**DEVELOPMENT OF A PROTOCOL FOR THE STUDY OF THE FUNCTIONAL STATE OF THE CARDIOVASCULAR AND NEUROMUSCULAR SYSTEMS AND THE STATE OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL FUNCTIONS OF E-ATHLETES****National University of Ukraine on Physical Education and Sport (Kyiv, Ukraine)****yulialuts06@gmail.com**

Cybersport is a branch of hybrid sports activity combining information and communication technologies and classical sports' training and competition principles. The optimal functional state of a gamer is one of the important keys to his professional success, and the proper activity of the individual physiological systems of his body contributes to the realization of his abilities. Because eSports is a relatively new field of sports practice, protocols are needed for a comprehensive study of the functional state of gamers.

The goal is to develop and approve a protocol for a comprehensive study of the level of sports performance of cyber-athletes, which includes the assessment of anthropometric indicators and the functional state of the neuromuscular system and conducting a series of tests to determine the state of psychophysiological functions and the level of intelligence in combination with a simultaneous study of the physiological price of standard dosed loads on intelligence and the sensorimotor sphere according to indicators of heart rate variability and central and regional hemodynamics.

Fourteen e-sportsmen aged 17-23 took part in the study. An assessment of cerebral, central and peripheral hemodynamics parameters, analysis of heart rate variability, psychophysiological parameters and features of sensorimotor reactions were performed in all examined persons. Also, the examination protocol included the evaluation of the general level of intelligence, electroneuromyographic and stabilometric research, measurement of the strength of large groups of muscles of the trunk and limbs, and analysis of the body's composition.

We have proposed a new systematic approach to diagnosing the functional state of cyber-athletes, which consists of instrumental research of physiological and anthropometric indicators that have the most significant impact on the effectiveness of gamers' sports activities. A research protocol consisting of 3 blocks has been developed and tested: block I – psychophysiological examination of e-athletes with a simultaneous study of heart rate variability and the state of central and peripheral hemodynamics in the upper limbs; block II – study of the general level of intelligence of the examinees in combination with the study of the reaction of cerebral and central hemodynamics to intellectual load; block III – electroneuromyographic and stabilometric study, measurement of the strength of large groups of muscles of the trunk and limbs, determination of body composition.

Key words: *rheography, state of psychophysiological functions, electroneuromyography, stabilometry, e-sport.*

Connection of the publication with planned research works.

The work is a fragment of the SRW of the National University of Physical Education and Sports of Ukraine for 2021-2025 "Influence of exogenous and endogenous factors on the course of adaptive reactions of the body to physical exertion of various intensities" (state registration number 012U108187).

Introduction.

Esports is a fast-growing industry that attracts large financial investments and gathers large international tournaments with significant fees. Intense competition in international competitions motivates specialists in this field to analyze individual and team performance indicators, and factors such as communication, concentration and team intelligence are recognized as critical to success in eSports activities. At the same time, an essential role in evaluating a player's success belongs to the methods of individual physiological monitoring, which allows the assessment of several parameters useful for high performance in a virtual competitive environment [1]. With the rapid development of eSports worldwide, it is officially recognized as a sport [2, 3, 4].

"E-sports as a unique social phenomenon has combined various aspects of sports experience through the convergence of physical and virtual spaces and requires e-athletes to quickly achieve a high level of mastery thanks to the improvement of specific psychophysiological and motor skills" [2]. Cybersport is considered one of the traditional types of sports, and at the same time – as a unique type, characterized by the development of specific physical, mental and psychophysiological qualities of an athlete [5]. Cybersport develops and trains mental abilities, sensory and motor coordination, etc. [6].

Strong competition in eSports motivates athletes to improve their athletic abilities, reaction speed, social skills, teamwork, stress resistance, etc. To sufficiently improve their soft skills, gamers need to maintain a healthy lifestyle, which can be quite problematic in a stressful environment where they are in a sedentary position for long periods. The development of mental stress and the reduction of the body's reserves in e-athletes is facilitated by specific activity features characterized by a high level of information loads, the need to make decisions in conditions of time shortage, etc. [2].

Gaming activity can lead to a decrease in the motor activity of gamers, which, in turn, can negatively affect the health parameters of e-athletes. However, there are few fundamental and systematic scientific studies on this issue in the scientific literature. That is why monitoring the functional state of athletes is an urgent task for specialists in sports and health. It is worth noting that in the practice of modern biological and sports science, there are no algorithms for a comprehensive examination and monitoring of the functional state of e-athletes, which acutely actualizes the need for the development and implementation of new, scientifically based research protocols for specific parameters of the state of health of e-athletes. This is what our research is dedicated to.

The aim of the study.

Development and approval of a protocol for a comprehensive study of the level of sports performance of cyber-athletes, which includes the assessment of anthropometric indicators and the functional state of the neuromuscular system and the conduct of several tests to determine the state of psychophysiological functions and the level of intelligence in combination with a simultaneous study of the physiological price of standard dosed loads on intelligence and sensorimotor sphere according to indicators of heart rate variability and central and regional hemodynamics.

Object and research methods.

The research was conducted based on the Research Institute of the National University of Ukraine on Physical Education and Sport. Fourteen e-athletes aged 17-23 participated in it, which was confirmed by the written informed consent of each of them and the survey questionnaire. The study consisted of 3 blocks:

Block I included determination of the state of psychophysiological functions using several psychophysiological tests with a simultaneous study of heart rate variability by recording a rhythmocardiogram (RhythmCG), and the state of central and peripheral hemodynamics (tetrapolar impedance rheoplethysmography was used). The rhythmocardiography was recorded before passing psychophysiological tests and during certain tests (tests for the accuracy of the reaction to a moving object and tests for simple and complex visual-motor reactions). Rheographic research was performed at rest (before psychophysiological tests), during psychophysiological tests, and during the first recovery period (3–5 minutes after the end of testing). At the same time, chest rheoplethysmogram and rheovasogram of the upper extremities were recorded simultaneously. Simultaneously with the registration of rheograms, blood pressure was measured.

Block II – a combination of the study of the general level of intelligence using the Raven test with a parallel study of central and peripheral hemodynamics. Before execution, during execution and 1 minute after the end of Raven's test, thoracic rheoplethysmogram and rheoencephalogram were recorded synchronously. Simultaneously with the registration of rheograms, blood pressure was measured.

Block III – electroneuromyographic (ENMG) and stabilometric study, measurement of the strength of large groups of muscles of the trunk and limbs.

Between these research blocks, breaks (10-15 minutes) were made to rest and recover the e-sportsmen's body.

A separate survey was conducted with subsequent determination of the subjects' body composition.

The rheographic complex "ReoCom" ("XAI-MEDICA", Ukraine) was used to register rheograms [7]. Heart rate variability was determined using the complex diagnostic automated "Cardio+" (NPP "METEKOL", Ukraine) with the option of registering 100 cardio intervals [8]. The auscultatory method measured blood pressure (BP) using a mechanical tonometer.

To determine the state of psychophysiological functions of e-athletes and their mental load, the diagnostic complex "Diagnost-1" (developers M.V. Makarenko, V.S. Lyzogub) was used [9] to determine the level of intelligence and mental load, Raven's test was used [10]. with the software and hardware complex of psychological and psychophysiological diagnostics "BOS-test-Professional" [11].

In all examined e-athletes, the indicators of a simple visual-motor reaction and the reaction of choosing one of three signals for the right and left hand, the indicators of the reaction of choosing two of three signals, the efficiency of sensorimotor activity (by the time of minimum exposure of signals in the feedback mode), dynamics nervous processes (by the time of exiting to the minimum exposure in the feedback mode), the accuracy of the reaction to a moving object, the number of leading and lagging reactions and the average deviation in the reaction to a moving object, the main properties of the nervous system (namely: functional mobility of nervous processes and strength of the nervous system). Object symbols – geometric figures were used as a mental load for information processing [9]. The dynamic muscular endurance of the movement of the hand of e-athletes was determined by the maximum rate of movement of the dominant and subdominant hand during 60 seconds using the tapping test method [9, 12].

Raven's test was used to measure general intelligence and as a mental load during the registration of hemodynamic parameters in e-athletes. When performing the test, an analysis of the structure of a sample of a certain matrix was carried out, it was necessary to understand the nature of the connections between the elements and to select the missing part by comparing it with the proposed answers.

The electroneuromyographic study was performed using a computerized electroneuromyograph M-Test DX-Systems (Ukraine). The method of H-reflexometry of the flounder muscle of the lower leg and the method of determining the speed of conduction of the nerve impulse along the motor fibers of the median nerve of the upper limb (*n. medianus*) were used [13, 14, 15]. The H-reflex was induced by bipolar transcutaneous stimulation of the tibial nerve of the lower limb (*n. tibialis*) in the popliteal fossa (a single rectangular pulse lasting 1 ms with intervals between pulses of at least 10 s). The following ENMG-parameters were analyzed: the thresholds for the occurrence of the H-response (a monosynaptic reflex response arising from the muscle under the conditions of stimulation of its low-threshold afferents, which are part of the mixed nerve) and the M-response (the direct response of the muscle to stimulation of motor fibers nerve), amplitudes of the maxi-

maximum H-response and maximum M-response, the ratio of the thresholds of H- and M-responses, the ratio of the amplitudes of the maximum H- and M-responses, in %, the speed of conduction of the nerve impulse along the motor fibers *n. medianus*, as well as the amplitudes of the muscle responses of the thumb muscles to stimulation of motor fibers *n. medianus* in the upper limb's proximal (elbow bend) and distal (wrist) points. Indicators were obtained for the right and left limbs. Lateral (right-left) coefficients of asymmetry for ENMG indicators were calculated as the ratio of the larger value of a certain indicator to the smaller one. When examining the upper limbs, the test subject was sitting, hands were freely placed on the couch, and when examining the lower extremities, the subject was lying on his stomach, feet hanging freely from the couch.

The study of postural balance was carried out using the Nintendo Wii Board (Japan-China) stabilometric platform in the conditions of a straight vertical stance, which in stabilometry is usually denoted by the term "main stance" [16, 17]. During the test, the athlete stood on a stable platform without shoes; hands were along the body. The following tests were conducted (each under the conditions of open and closed eyes): 1) the main vertical stand with a wide base of support (the distance between the feet), namely, a comfortable position of the feet at shoulder width; 2) vertical stance with a narrowed base of support, namely – feet together; 3) vertical stance with a narrowed base of support with the head tilted back at 45 degrees; 4) vertical stance with a narrowed base of support with cognitive load (counting). Tests 2-4 were performed while standing on both hard and soft surfaces. The registration time of each sample was equal to 20 s. The following stabilometric indicators were determined for each sample: Xc, mm – the average position of the center of foot pressure (CFP) along the abscissa axis (in the frontal plane; a negative value of X corresponded to its shift to the left of the center of the platform coordinates, and a positive value to the right), Yc, mm – the average position of the CFP along the ordinate axis (in the sagittal plane; a negative Y value corresponded to its displacement back from the center of coordinates, and a positive value – forward); XSD, mm – scatter (mean square deviation) in the frontal plane, YSD, mm – scatter (mean square deviation) in the sagittal plane; VX, mm/s – average speed of CFP movement in the frontal plane, VY, mm/s – average speed of CFP movement in the sagittal plane, V, mm/s – average speed of CFP movement in the two-dimensional coordinate system. VY/VX, the ratio of VY to VX, was also calculated.

The strength of large groups of muscles of the trunk and limbs was measured using the BackCheck complex (Dr Wolff, Germany) [18]; the following tests were performed: extension, flexion and lateroflexion of the upper body, pushing and pulling, as well as extension and abduction of the hip.

The research related to the composition of the body was carried out with the help of professional scales-analyzers of body composition Tanita-BC-418MA (Tanita Corporation, Japan), with the help of which we obtained the following data: body weight (kg), body mass index as a ratio of body weight to the square of height (kg/m²), total fat content (%), basic metabolism (Kcal, J), absolute and relative fat content (kg, %), LBM – lean body mass

(kg), total amount of water in the body (kg); the following data were also obtained for the right and left leg and arm: absolute and relative fat content (kg, %), LBM (kg), predicted muscle mass (kg) [19].

When conducting complex biological studies with the participation of cyber-athletes, following the principles of bioethics, the "Program of a complex biological study of the features of the functional capabilities of athletes" developed at the NUUPES Research Institute, as well as the legislation of Ukraine on health care, the Declaration of Helsinki (2000) and other normative documents regulating the participation of people in medical and biological research [19].

Research results and their discussion.

In today's conditions, digital sports are one of modern times' fundamental, organizing, economic and socio-cultural factors. In this regard, the medical and biological aspects of the organization of the training and competition process in eSports, including the assessment of the functional state of gamers, are acutely emerging. During professional activities, players quite often experience situations of strong psycho-emotional stress, while there is an increased need for the supply of oxygen and nutrients to actively working tissues (primarily, the nervous system and skeletal muscles of the trunk and upper limbs).

In these conditions, the functional reserves of the blood circulation system and the state of vegetative regulation are the key factors limiting the level of gamer performance. That is why in the first block of the examination, which consisted of several psychophysiological tests, we used monitoring of heart rate variability and the state of central and peripheral hemodynamics during testing.

The examination began before the test (at rest) with measuring blood pressure, registration of rheograms and rhythmocardiograms. At the same time, rheography was performed twice. First, rheoencephalograms (REG) were recorded synchronously with chest rheogram registration. Rheovasograms of the forearms follow this with simultaneous registration of the thoracic rheogram. When registering REG, fronto-mastoid (FM) and occipito-mastoid (OM) leads were used simultaneously, reflecting blood filling in the basin of the internal carotid arteries and in the intracranial department of the vertebral arteries, respectively.

The intensity of competitions in e-sports, strong competition, complex psycho-emotional experiences during the game determine the need for a cyber-athlete to master computer control devices (for example, a keyboard, mouse or game console controllers, etc.). In addition, to perform successful activities in the field of eSports, a gamer must have excellent sensorimotor skills, the main characteristics of which should be super-efficient visual-motor coordination, a short latency period of reaction to stimuli, quick decision-making in a virtual competitive environment, which is crucial for victory and success in eSports, etc. In accordance with this, we determined the characteristics of visual-motor reactions of varying complexity in e-athletes. This study, which began with the determination of the latent period of simple visual-motor reactions (LP SVMR) of e-athletes, the latent period of the visual-motor reaction of choosing one signal out of three (LP CR1-3) (1 min), and the latent period of the visual-motor reaction of choos-

ing two out of three (LP CR2-3) (1 min). For the successful performance of the tasks, the subjects were required to concentrate attention, mentally operate with images in space, well-developed perception, logical thinking (a kind of visual logic), etc. [10, 11, 20,]. The study of visual-motor reactions was accompanied by monitoring heart rate variability and synchronous registration of rheovasograms of the forearms and thoracic rheogram.

The high variability of game situations, the change in the content of virtual activities, the rapid appearance of new forms and types of games entails the transformation of competition rules, the difficulties of refereeing and the very training of e-sportsmen. All of the above requires the cyberathlete to acquire and maintain new, specific features of psycho-emotional activity at the appropriate level. However, the results of scientific studies on changes in the psychophysiological states of gamers at rest and during the game still need to be present in the modern scientific literature, which determines the urgent need for research on this issue. That is why the next step was to determine the level of functional mobility of nervous processes (FMNP) (1 min) of e-athletes, which was carried out in feedback mode, in which the duration of exposure to the signal changed automatically according to the nature of the subject's reaction. For this purpose, the test presented 120 stimuli (geographic figures) for information processing. In parallel with this, the indicators of tetrapolar thoracic impedance rheoplethysmography and rheovasography of the upper extremities were recorded. BP was measured before and after determination of FMNP in feedback mode. Subsequently, the strength of neural processes (SNP) and FMNP (5 min) in the feedback mode were investigated, i.e., the ability of gamers to focus long-term on the performance of the test. RhythmKG and central and peripheral hemodynamics parameters were recorded during this test.

The next test performed by e-sportsmen was the determination of the reaction to a moving object (RMO) (3 min). It aims to study the accuracy of sensorimotor reactions and determine the balance between the processes of excitation and inhibition of gamers. The balance of nervous processes in this test is determined by the ratio of being ahead to being behind. At the same time, hemodynamic parameters and ECG were recorded.

The next test, which the examined young men passed, was the determination of FMNP and SVP in the imposed rhythm mode (duration – 6 min). The RMNP indicator is the speed of exposure of signals with no more than 5.5% errors during a series that lasts 30 seconds. SNP was determined by the total number of mistakes that were made by the subjects during the entire test as a percentage of the total number of signals in the test.

Blood pressure was measured at the beginning, middle, and end of this test, and the parameters of central hemodynamics and peripheral hemodynamics (in the forearms) were determined simultaneously.

The next test was a tapping test – determination of the dynamics of the movement rates of the hand of the dominant and subdominant hand (alternately), duration – 60 seconds, with a recovery period of 3 minutes. According to the methodology, the examined persons had to try to maintain the maximum possible pace of hand movements during the given time. During the test, the tempo (the number of keystrokes) was recorded every

five seconds and throughout the test. Immediately after each tapping test, BP was measured, and rheograms were recorded.

Block I was completed by determining LP SVMR, LP CR1-3 and RMO, but the corresponding tests were performed with the subdominant hand. At the same time, hemodynamic parameters and ECG were recorded.

It should be noted that in block I, the state of peripheral hemodynamics was studied in the forearms.

Block II – was aimed at researching the general level of intelligence and the dynamics of central and cerebral blood flow indicators during the performance of the testing task we chose (Raven's test). Block followed this block I after a 20-minute break. At the end of the break, BP was measured and REG was recorded synchronously with the chest rheogram. In the future, the e-sportsman got acquainted with the instructions for studying the general level of intelligence according to the Raven test and began to perform it directly. Raven's test consists of a matrix of 60 cards used to fill in the missing items from the proposed answer options. All cards are divided into five groups (A, B, C, D and E), with 12 cards in each group. The matrices are called progressive because the task's difficulty increases from the first to the twelfth matrix in each series and in general with each series. Testing lasted 20 minutes, unless the subject completed the task in a shorter time. At the 1st minute of testing and 5 minutes during the test and 1 minute after the end of the test, BP was measured and REG was recorded synchronously with the chest rheogram.

Electroneuromyography is an essential method of analyzing the functional state of the neuromuscular system. It is known that regular physical training in traditional sports leads to functional and structural adaptive changes in the body, as a result of which the strength and flexibility of the musculoskeletal system increase [21]. However, inadequate load during training can lead to functional and structural disorders related to the musculoskeletal system and the nervous system, including compression of spinal nerve roots, particularly the lumbosacral division of the spinal cord [22]. The predominantly sedentary lifestyle of gamers actualizes the need to include in the plan of a comprehensive study the analysis of the functional state of the segmental apparatus of the lumbosacral spinal cord of e-athletes and the speed indicators of nerve impulse conduction along the motor fibers of the nerves of the upper limbs (electroneuromyographic study). With ENMG, we started the examination in block III of our study. In this block, the state of postural balance of e-athletes was also evaluated using stabilometry – the peculiarities of the functioning of the neuromuscular apparatus were investigated under the conditions of the predominant use of a certain sensorimotor system to maintain the vertical position of the body in a state of relative rest and under the influence of various factors, including cognitive load. The measurement of the strength of large muscle groups of the trunk and limbs was also included in block III.

ENMG research allows you to detect possible functional and structural disorders of the neuromuscular system and determine the peculiarities of the functioning of the neuromuscular apparatus in e-athletes specializing in various game genres. Deviations of ENMG parameters from the norm can be observed due to the influence on the spinal nerves of the sacral plexus of

a complex of factors – compression, ischemia and hypoxia, which occur in the syndrome of muscle blockade of the intervertebral discs or due to compression of peripheral nerves by hypertonic muscles of the pelvic girdle located along the course of the nerves or lower limbs [22].

Currently, there is an active study of the influence of linear acceleration on the human body, particularly on hemodynamics [23, 24]. The hemodynamic effects of moderate accelerations in some sports could be better studied and are practically out of the attention of physiologists [23, 25]. In the conditions of training and competitive activities in eSports, gamers spend most of their time in the virtual space and are affected by imaginary accelerations, which can also affect the indicators of central and cerebral hemodynamics. One of the negative factors that can lead to disability is the impact of inadequate vestibular load on the body [26].

The body's reaction to vestibular stimuli is very diverse and covers the functioning of almost all organs and systems. Stabilometric studies make it possible to assess postural balance at rest, changes after physical exertion of various intensity and direction, fatigue or injury, the condition of the vestibular system of the athlete's body, as well as the effects of various training and rehabilitation programs [27, 28].

The indicators of the stabilometric study, in particular the asymmetry of the center of pressure of the feet in the frontal plane and the movement of the center of pressure of the feet when the body posture is changed, are used as diagnostic criteria for the functioning of the neuromuscular system, which allows timely detection of certain pre-pathological conditions of the musculoskeletal system [29].

The data obtained during the measurement of muscle strength can provide important information about the state of muscle groups of the trunk, upper and lower limbs, shoulder girdle, namely about the correspondence of strength indicators to reference values, the de-

gree of their asymmetry, as well as about possible signs of pathological the state of the musculoskeletal system caused by the sedentary lifestyle of e-athletes.

The body composition of e-athletes was also determined. With the help of bioimpedancemetry, namely segmental analysis, it is possible to detect asymmetry of muscle mass in individual limbs, which can significantly affect the technique of performing movements, lead to diseases of the musculoskeletal system and injuries.

Thus, for our group of subjects, monitoring the body's functional state is essential for diagnostics for early detection of disorders and health preservation because their activity involves a sedentary lifestyle.

Conclusions.

We have proposed a new systematic approach to diagnosing the functional state of cyber-athletes, which consists of the instrumental study of physiological and anthropometric indicators that have the greatest impact on the effectiveness of gamers' sports activities. A research protocol consisting of 3 blocks has been developed and tested: block I – psychophysiological examination of e-athletes with a simultaneous study of heart rate variability and the state of central and peripheral hemodynamics in the upper limbs; block II – study of the general level of intelligence of the examinees in combination with the study of the reaction of cerebral and central hemodynamics to intellectual load; block III – electroneuromyographic and stabilometric study, measurement of the strength of large groups of muscles of the trunk and limbs, determination of body composition.

Prospects for further research.

They consist of the implementation of the protocol developed by us for the comprehensive examination of the functional state of the cardiovascular and neuromuscular systems and the state of psychophysiological functions in research with the participation of athletes specializing in e-sports, for the early diagnosis of violations and the preservation of the health of e-athletes.

DOI 10.29254/2077-4214-2023-4-171-391-402

УДК 796:004.38:611.1:616.8-009.1:612.821

Луць Ю. П., Лук'янцева Г. В., Бакуновський О. М., Федорчук С. В., Колосова О. В.

РОЗРОБКА ПРОТОКОЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ, НЕРВОВО-М'ЯЗОВОЇ СИСТЕМ ТА СТАНУ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ КІБЕРСПОРТСМЕНІВ

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

yulialuts06@gmail.com

Кіберспорт є галуззю гібридної спортивної діяльності, яка поєднує в собі інформаційно-комунікаційні технології і тренувально-змагальні засади класичного спорту. Оптимальний функціональний стан геймера є однією з важливих запорук його професійної успішності, а належна діяльність окремих фізіологічних систем його організму вкладає свій внесок у реалізацію його здібностей. У зв'язку з тим, що кіберспорт є відносно новою сферою спортивної практики, наразі поки що відсутні протоколи комплексного дослідження функціонального стану геймерів.

Мета – розробка і апробація протоколу комплексного дослідження рівня спортивної працездатності кіберспортсменів, який включає в себе оцінку антропометричних показників та функціонального стану нервово-м'язової системи і проведення ряду тестів для визначення стану психофізіологічних функцій та рівня інтелекту в поєднанні з одночасним дослідженням фізіологічної ціни стандартних дозованих навантажень на інтелект та сенсомоторну сферу за показниками варіабельності серцевого ритму та центральної і регіональної гемодинаміки.

У дослідженні брали участь 14 кіберспортсменів віком 17-23 роки. У всіх обстежених осіб проводили оцінку параметрів церебральної, центральної і периферичної гемодинаміки, аналіз варіабельності

серцевого ритму, психофізіологічних параметрів і особливостей сенсомоторних реакцій. Також у протокол обстеження вводили оцінку загального рівня інтелекту, електронейроміографічне і стабілометричне дослідження, вимірювання сили великих груп м'язів тулуба та кінцівок, аналіз композиційного складу тіла.

Нами запропоновано новий системний підхід до діагностики функціонального стану кіберспортсменів, що полягає в інструментальному дослідженні фізіологічних та антропометричних показників, які мають найбільший вплив на ефективність спортивної діяльності геймерів. Розроблено і апробовано протокол дослідження, що складається з 3-х блоків: блок I – психофізіологічне обстеження кіберспортсменів з одночасним дослідженням варіабельності серцевого ритму та стану центральної і периферичної гемодинаміки в верхніх кінцівках; блок II – дослідження загального рівня інтелекту обстежуваних в поєднанні з дослідженням реакції мозкової і центральної гемодинаміки на інтелектуальне навантаження; блок III – електронейроміографічне та стабілометричне дослідження, вимірювання сили великих груп м'язів тулуба та кінцівок, визначення композиційного складу тіла.

Ключові слова: реографія, стан психофізіологічних функцій, електронейроміографія, стабілометрія, кіберспорт.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Робота є фрагментом НДР Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021-2025 рр. «Вплив екзогенних та ендогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (державний реєстраційний номер 012U108187).

Вступ.

Кіберспорт – це індустрія, яка швидко розвивається, залучає великі фінансові інвестиції, збирає великі міжнародні турніри зі значними гонорами. Потужна конкуренція на міжнародних змаганнях мотивує фахівців цієї сфери до аналізу показників індивідуальної та командної продуктивності, а такі фактори, як комунікація, зосередженість і командний інтелект, визнані критично важливими для успіху у кіберспортивній діяльності. У той же час, важлива роль в оцінці персональної успішності гравця належить методам індивідуального фізіологічного моніторингу, що дозволяє оцінювати ряд параметрів, корисних для високої результативності у віртуальному змагальному середовищі [1]. У зв'язку зі стрімким розвитком кіберспорту в усьому світі, він офіційно визнаний видом спорту [2, 3, 4].

«Кіберспорт як унікальне соціальне явище поєднує різні аспекти спортивного досвіду шляхом конвергенції фізичного і віртуального просторів і вимагає від кіберспортсменів швидкого досягнення високого рівня майстерності завдяки вдосконаленню специфічних психофізіологічних і рухових умінь» [2]. Кіберспорт розглядається як один із традиційних видів спорту, і водночас – як унікальний вид, для якого характерний розвиток специфічних фізичних, психічних і психофізіологічних якостей спортсмена [5]. Кіберспорт розвиває і тренує розумові здібності, сенсорну та моторну координацію тощо [6].

Потужна конкуренція у світі кіберспорту мотивує спортсменів вдосконалювати не лише свої спортивні здібності та швидкість реакції, а й соціальні навички командної роботи, стресостійкість тощо. Для того, щоб у достатній мірі поліпшити власні soft skills, геймерам необхідно підтримувати здоровий спосіб життя, що може бути досить проблематично в стресовому середовищі, де вони перебувають в сидячому положенні протягом тривалого часу. Розвитку психічного напруження і зниженню резервів організму у кіберспортсменів сприяють специфічні особливості діяльності, які характеризуються високим

рівнем інформаційних навантажень, необхідністю прийняття рішення в умовах дефіциту часу тощо [2].

Ігрова діяльність може призводити до зниження рухової активності геймерів, що, в свою чергу, може негативно позначатися на параметрах стану здоров'я кіберспортсменів. Втім, фундаментальних і системних наукових досліджень з означеної проблематики у науковій літературі вкрай небагато. Саме тому моніторинг функціонального стану спортсменів є актуальним завданням для фахівців сфери спорту і здоров'я. Варто зазначити, що у практиці сучасної біологічної і спортивної науки відсутні алгоритми комплексного обстеження і моніторингу функціонального стану кіберспортсменів, що гостро актуалізує необхідність розробки і впровадження нових, науково обґрунтованих протоколів досліджень певних параметрів стану здоров'я кіберспортсменів. Саме цьому і присвячене наше дослідження.

Мета дослідження.

Розробка і апробація протоколу комплексного дослідження рівня спортивної працездатності кіберспортсменів, який включає в себе оцінку антропометричних показників та функціонального стану нервово-м'язової системи і проведення ряду тестів для визначення стану психофізіологічних функцій та рівня інтелекту в поєднанні з одночасним дослідженням фізіологічної ціни стандартних дозованих навантажень на інтелект та сенсомоторну сферу за показниками варіабельності серцевого ритму та центральної і регіональної гемодинаміки.

Об'єкт і методи дослідження.

Дослідження проводили на базі Науково-дослідного інституту НУФВСУ. В ньому брали участь 14 кіберспортсменів віком 17-23 роки, що було підтверджено письмовою інформованою згодою кожного з них, а також анкетною обстеженою. Дослідження складалося з 3-х блоків:

Блок I включав визначення стану психофізіологічних функцій за допомогою низки психофізіологічних тестів з одночасним дослідженням варіабельності серцевого ритму, шляхом реєстрації ритмокардіограми (РитмКГ), та стану центральної і периферичної гемодинаміки (застосовували тетраполяру імпульсну реоплетизмографію). Ритмокардіограму реєстрували перед проходженням психофізіологічних тестів і під час виконання певних тестів (тест на точність реакції на рухомий об'єкт та тести на просту і складну зорово-моторну реакцію). Реографічне дослідження проводили в стані спокою (перед про-

ходженням психофізіологічних тестів), впродовж виконання психофізіологічних тестів і під час I періоду відновлення (3–5 хвилин після завершення тестування). При цьому синхронно реєстрували грудну реоплетизмограму і реовазограми верхніх кінцівок. Одночасно з реєстрацією реограм вимірювали артеріальний тиск.

Блок II – поєднання дослідження загального рівня інтелекту за допомогою тесту Равена з паралельним дослідженням центральної і периферійної гемодинаміки. Перед виконанням, впродовж виконання і на 1-й хвилині після завершення тесту Равена реєстрували синхронно грудну реоплетизмограму і реоенцефалограму. Одночасно з реєстрацією реограм вимірювали артеріальний тиск.

Блок III – електронейроміографічне (ЕНМГ) та стабілометричне дослідження, вимірювання сили великих груп м'язів тулуба та кінцівок.

Між цими блоками досліджень робили перерви (10 – 15 хвилин) для відпочинку і відновлення організму кіберспортсменів.

Окремо проводили анкетування з подальшим визначенням композиційного складу тіла у обстежуваних.

Для реєстрації реограм застосовували комплекс реографічний «РеоКом» («ХАІ-МЕДИКА», Україна) [7]. Варіабельність серцевого ритму визначали за допомогою комплексу діагностичного автоматизованого «Кардіо+» (НВП «МЕТЕКОЛ», Україна) з застосуванням опції реєстрації 100 кардіоінтервалів [8]. Артеріальний тиск (АТ) вимірювали аускультативним методом, з використанням механічного тонометра.

Для визначення стану психофізіологічних функцій кіберспортсменів і їх розумового навантаження використовували діагностичний комплекс «Діагност-1» (розробники М. В. Макаренко, В. С. Лизогуб) [9], для визначення рівня інтелекту та як розумове навантаження використовували тест Равена [10] із застосуванням програмно-апаратного комплексу психологічної та психофізіологічної діагностики «БОС-тест-Професійний» [11].

У всіх обстежених кіберспортсменів досліджували показники простої зорово-моторної реакції та реакції вибору одного із трьох сигналів для правої та лівої руки, показники реакції вибору двох із трьох сигналів, ефективність сенсомоторної діяльності (за часом мінімальної експозиції сигналів в режимі зворотного зв'язку), динамічність нервових процесів (за часом виходу на мінімальну експозицію в режимі зворотного зв'язку), точність реакції на рухомий об'єкт, кількість реакцій випередження і запізнювання та середнє відхилення у реакції на рухомий об'єкт, основні властивості нервової системи (а саме: функціональна рухливість нервових процесів і сила нервової системи). Як розумове навантаження для переробки інформації застосовувалися предметні символи – геометричні фігури [9]. Динамічна м'язова витривалість руху кисті кіберспортсменів визначалася за максимальним темпом руху кисті домінантної та субдомінантної руки впродовж 60 сек за методикою тепінг-тест [9, 12].

Тест Равена був використаний для виміру загального інтелекту та як розумове навантаження під час реєстрації параметрів гемодинаміки у кіберспортсменів. При виконанні тесту проводився аналіз

структури зразка певної матриці, потрібно було зрозуміти характер зв'язків між елементами та вибрати відсутню частину шляхом порівняння з пропонованими на вибір відповідями.

Електронейроміографічне дослідження проводили за допомогою комп'ютерного електронейроміографа M-Test DX-Systems (Україна). Використовували методику Н-рефлексометрії камбалоподібного м'яза гомілки та методику визначення швидкості проведення нервового імпульсу по моторних волокнах серединного нерва верхньої кінцівки (*n. medianus*) [13, 14, 15]. Н-рефлекс викликали біполярною черезшкірною стимуляцією великогомілкового нерву нижньої кінцівки (*n. tibialis*) у підколінній ямці (поодиноким прямокутним імпульсом тривалістю 1 мс з інтервалами між імпульсами не менше 10 с). Аналізували наступні ЕНМГ-параметри: пороги виникнення Н-відповіді (моносинаптичної рефлекторної відповіді, що відводиться від м'яза в умовах стимуляції її низькопорогових аферентів, які йдуть у складі змішаного нерву) та М-відповіді (прямой відповіді м'яза на подразнення моторних волокон нерву), амплітуди максимальної Н-відповіді та максимальної М-відповіді, співвідношення порогів Н- та М-відповідей, співвідношення амплітуд максимальних Н- та М-відповідей, у %, швидкість проведення нервового імпульсу по моторних волокнах *n. medianus*, а також амплітуди м'язових відповідей м'язів підвищення великого пальця руки на стимуляцію моторних волокон *n. medianus* в проксимальній (ліктьовий згин) та дистальній (зап'ясток) точках верхньої кінцівки. Одержували показники для правої та лівої кінцівок. Розраховували латеральні (право-лівобічні) коефіцієнти асиметрії для ЕНМГ-показників, як відношення більшого значення певного показника до меншого. При дослідженні верхніх кінцівок тестованний перебував в положенні сидячи, руки вільно розташовувалися на кушетці, а при дослідженні нижніх кінцівок – у положенні лежачи на животі, стопи вільно звисали з кушетки.

Дослідження постурального балансу проводилось з використанням стабілометричної платформи Nintendo Wii Board (Японія-Китай) в умовах прямої вертикальної стійки, яку в стабілометрії зазвичай позначають терміном «основна стійка» [16, 17]. Під час тесту спортсмен стояв на стабілоплатформі без взуття, руки розташовані вздовж тулуба. Проводилися такі проби (кожна за умов відкритих та закритих очей): 1) основна вертикальна стійка із широкою базою опори (відстанню між стопами), а саме – зручним положенням стоп на ширині плечей; 2) вертикальна стійка зі звуженою базою опори, а саме – стопи разом, 3) вертикальна стійка зі звуженою базою опори з нахилом голови назад на 45 градусів, 4) вертикальна стійка зі звуженою базою опори з когнітивним навантаженням (рахуванням). Пробі 2-4 виконувалися в умовах стояння як на твердій, так і на м'якій поверхнях. Час реєстрації кожної проби дорівнював 20 с. Для кожної проби визначали такі стабілометричні показники: Хс, мм – середнє положення центру тиску стоп (ЦТС) по осі абсцис (у фронтальній площині; негативне значення Х відповідало його зміщенню вліво від центра координат платформи, а позитивне – вправо), Yс, мм – середнє положення ЦТС по осі ординат (у сагітальній площині).

ні; негативне значення Y відповідало його зміщенню назад від центра координат, а позитивне – вперед); XSD , мм – розкид (середнє квадратичне відхилення) у фронтальній площині, YSD , мм – розкид (середнє квадратичне відхилення) у сагітальній площині; VX , мм/с – середня швидкість переміщення ЦТС у фронтальній площині, VY , мм/с – середня швидкість переміщення ЦТС у сагітальній площині, V , мм/с – середня швидкість переміщення ЦТС у двовірній системі координат. Розраховували також VY/VX – відношення VY до VX .

Вимірювали силу великих груп м'язів тулуба та кінцівок за допомогою комплексу BackCheck (Dr. Wolff, Німеччина) [18], проводили наступні тести: екстензія, флексія та латерофлексія верхньої частини тулуба, штовхання та тяга, а також екстензія та абдукція стегна.

Дослідження, що стосується композиційного складу тіла, проводилось за допомогою професійних ваг-аналізаторів складу тіла Tanita-BC-418MA (Tanita Corporation, Японія), за допомогою яких ми отримували наступні дані: маса тіла (кг), індекс маси тіла як відношення маси тіла до квадрату зросту ($\text{кг}/\text{м}^2$), вміст загального жиру (%), основний обмін (Ккал, Дж), абсолютний та відносний вміст жиру (кг, %), БМТ – маса тканин, що не містить жиру (кг), загальна кількість води в організмі (кг); також по правій та лівій нозі та руці отримували наступні дані: абсолютний та відносний вміст жиру (кг, %), БМТ (кг), прогнозована м'язова маса (кг) [19].

При проведенні комплексних біологічних досліджень за участю кіберспортсменів, відповідно до принципів біоетики, дотримувалися розробленої в НДІ НУФВСУ «Програми комплексного біологічного дослідження особливостей функціональних можливостей спортсменів», а також законодавства України про охорону здоров'я, Гельсінської декларації (2000 р.) та інших нормативних документів, що регламентують участь людей в медико-біологічних дослідженнях [19].

Результати дослідження та їх обговорення.

В умовах сьогодення цифрові види спорту виступають одним із фундаментальних, організуючих, економічних та соціо-культурних факторів сучасності. У зв'язку з цим, гостро постає проблематика медико-біологічних аспектів організації тренувального і змагального процесу в кіберспорті, в тому числі – оцінки функціонального стану геймерів. Під час здійснення професійної діяльності в гравців доволі часто виникають ситуації потужного психоемоційного навантаження, при цьому спостерігається підвищена потреба у постачанні кисню і поживних речовин до активно працюючих тканин (в першу чергу, нервової системи і скелетних м'язів тулуба і верхніх кінцівок).

В означених умовах ключовими факторами, що лімітують рівень працездатності геймерів є функціональні резерви системи кровообігу та стан вегетативної регуляції. Саме тому в I-му блоці обстеження, що складався з низки психофізіологічних тестів, ми застосували під час тестування моніторинг варіабельності серцевого ритму і стану центральної та периферичної гемодинаміки.

Обстеження починали перед тестуванням (в стані спокою) з вимірювання АТ, реєстрації реограм та ритмокардіограми. При цьому реографію прово-

дили двічі. Спершу записували реоенцефалограми (РЕГ) синхронно з реєстрацією грудної реограми. Слідом за цим – реовазограми передпліч з синхронною реєстрацією грудної реограми. При реєстрації РЕГ застосовували одночасно фронто-мастоїдальні (FM) і окципіто-мастоїдальні (OM) відведення, що відображають кровонаповнення в басейні внутрішніх сонних артерій і в інтракраніальному відділі хребетних артерій, відповідно.

Напруженість змагань у кіберспорті, потужна конкуренція, складні психоемоційні переживання під час гри визначають необхідність досконалого володіння кібератлетом навичками використання пристроїв управління комп'ютером (наприклад, клавіатурою, мишкою чи контролерами ігрової консолі тощо). Крім цього, для здійснення успішної діяльності у сфері кіберспорту геймер повинен мати відмінні сенсомоторні навички, основними характеристиками яких мають бути недефективна зорово-моторна координація, короткий латентний період реакції на дію подразників, швидке прийняття рішень у віртуальному конкурентному середовищі, що має вирішальне значення для перемоги та успіху у кіберспорті тощо. У відповідності до цього, ми визначали характеристики *зорово-моторних реакцій різної складності у кіберспортсменів. Дане дослідження, яке розпочиналося з визначення латентного періоду простих зорово-моторних реакцій (ЛП ПЗМР) кіберспортсменів, латентного періоду зорово-моторної реакції вибору одного сигналу з трьох (ЛП РВ1-3) (1 хв), та латентного періоду зорово-моторної реакції вибору двох з трьох (ЛП РВ2-3) (1 хв). Для успішного виконання завдань від обстежуваних вимагалися вміння концентрувати увагу, подумки оперувати образами у просторі, добре розвинена перцепція, логічне мислення (своєрідна візуальна логіка) тощо [10, 11, 20,]. Дослідження зорово-моторних реакцій супроводжувалось моніторингом варіабельності серцевого ритму та синхронною реєстрацією реовазограм передпліч і грудної реограми.*

Висока варіативність ігрових ситуацій, зміна змісту віртуальної діяльності, швидка поява нових форм та видів ігор тягне за собою трансформацію правил змагань, труднощі суддівства та самої підготовки кіберспортсменів. Усе вищезазначене потребує від кібератлета набуття і підтримки на належному рівні нових, специфічних рис психоемоційної діяльності. Втім, у сучасному науковому доробку майже відсутні результати наукових досліджень щодо змін психофізіологічних станів геймерів у стані спокою та під час гри, що обумовлює нагальну потребу в дослідженнях з означеної проблематики. Саме тому наступним кроком було визначення рівня функціональної рухливості нервових процесів (ФРНП) (1 хв) кіберспортсменів, яке проводилося в режимі зворотного зв'язку, при якому тривалість впливу сигналу змінювалася автоматично відповідно до характеру реакції досліджуваного. Для цього в тесті було представлено 120 стимулів (географічних фігур) для обробки інформації. Паралельно з цим знімалися показники тетраполярої грудної імпедансної реоплетизмографії, реовазографії верхніх кінцівок. Перед та після визначення ФРНП в режимі зворотного зв'язку вимірювали АТ. В подальшому досліджували силу нервових процесів (СНП) та ФРНП (5 хв) в

режимі зворотного зв'язку, тобто здатність геймерів довгостроково зосереджувати увагу на виконанні тесту. Під час проходження даного тесту реєстрували РитмКГ та параметри центральної і периферичної гемодинаміки.

Наступний тест, який виконували кіберспортсмени – визначення реакції на рухомий об'єкт (РРО) (3 хв). Він спрямований на вивчення точності сенсомоторних реакцій та визначення балансу між процесами збудження і гальмування геймерів. Врівноваженість нервових процесів в даному тесті визначається співвідношенням випередження до запізнення. Одночасно з цим, проводили реєстрацію параметрів гемодинаміки і РитмКГ.

Наступний тест, який проходили обстежені юнаки, було визначення ФРНП та СНП в режимі нав'язаного ритму (тривалість – 6 хв). Показником ФРНП є швидкість експозиції сигналів при кількості помилок не більше 5,5% впродовж серії, яка триває 30 сек. СНП визначали за загальною кількістю помилок, які були допущені обстежуваними протягом виконання всього тесту за відсотком від загальної кількості сигналів у тесті.

На початку, в середині і в кінці проходження цього тесту вимірювали АТ та визначали синхронно параметри центральної гемодинаміки і периферійної (в передпліччях).

Наступним тестом був тепінг-тест – визначення динаміки темпів руху кисті домінантної та субдомінантної руки (по черзі), тривалість – по 60 сек, з періодом відновлення 3 хв. Згідно з методикою, обстежені особи повинні були намагатися підтримувати максимально можливий темп рухів кисті протягом заданого часу. Під час виконання тесту темп (кількість натискань клавіші) фіксувався кожні п'ять секунд, а також протягом усієї тривалості тесту. Відразу після виконання кожного проходження тепінг-тесту вимірювали АТ і реєстрували реограми.

Блок I завершували визначенням ЛП ПЗМР, ЛП РВ1-3 і РРО, але відповідні тести виконувались субдомінантною рукою. Одночасно з цим, проводили реєстрацію параметрів гемодинаміки і РитмКГ.

Маємо зазначити, що в блоці I стан периферійної гемодинаміки досліджували в передпліччях.

Блок II – мав на меті дослідження загального рівня інтелекту та динаміки показників центрального і мозкового кровотоку під час виконання обраного нами тестуючого завдання (тест Равена). Цей блок проводився слідом за блоком I після 20-хвилинної перерви. В кінці перерви вимірювали АТ і реєстрували РЕГ синхронно з грудною реограмою. В подальшому кіберспортсмени знайомилися з інструкцією щодо дослідження загального рівня інтелекту за тестом Равена та приступав безпосередньо до виконання. Тест Равена складається з матриці з 60 карток, які використовуються для заповнення пропущених пунктів із запропонованих варіантів відповідей. Всі картки розділені на п'ять груп (А, В, С, D і Е), по 12 карток у кожній групі. Матриці називаються прогресивними, оскільки складність завдання зростає від першої до дванадцятої матриці в кожній серії та загалом з кожною серією. Тестування тривало 20 хвилин, якщо обстежуваний не завершував виконання завдання в коротший термін. На 1-й хвилині тестування і 5 хвилин впродовж виконання тесту та через 1 хвилину після

завершення тесту вимірювали АТ і реєстрували РЕГ синхронно з грудною реограмою.

Важливим методом аналізу функціонального стану нервово-м'язової системи є електронейроміографія. Відомо, що регулярні фізичні тренування в традиційних видах спорту призводять до функціональних і структурних адаптаційних змін в організмі, внаслідок чого збільшується міцність та гнучкість опорно-рухового апарату [21]. Однак, неадекватне навантаження при тренуванні може призвести до функціональних і структурних порушень, пов'язаних з опорно-руховим апаратом, а також з нервовою системою, включно з компресією спинномозкових нервових корінців, зокрема попереково-крижового відділу спинного мозку [22]. Переважно сидячий спосіб життя геймерів актуалізує необхідність включення в план комплексного дослідження аналізу функціонального стану сегментарного апарату попереково-крижового відділу спинного мозку кіберспортсменів та швидкісних показників проведення нервового імпульсу по моторних волокнах нервів верхніх кінцівок (електронейроміографічне дослідження). З ЕНМГ ми починали обстеження в блоці III нашого дослідження. В цьому блоці також проводили оцінку стану постурального балансу кіберспортсменів за допомогою стабілометрії – досліджували особливості функціонування нервово-м'язового апарату за умов переважного використання певної сенсомоторної системи для підтримання вертикального положення тіла в стані відносного спокою та під впливом різних факторів, в тому числі і когнітивного навантаження. До блоку III було включено також вимірювання сили великих груп м'язів тулуба та кінцівок.

ЕНМГ-дослідження дозволяє виявити можливі функціональні та структурні порушення нервово-м'язової системи, а також визначити особливості функціонування нервово-м'язового апарату у кіберспортсменів, що спеціалізуються в різних ігрових жанрах. Відхилення ЕНМГ-параметрів від норми можуть спостерігатися внаслідок впливу на спинномозкові нерви крижового сплетіння комплексу чинників – компресії, ішемії та гіпоксії, що мають місце при синдромі м'язової блокади міжхребцевих дисків або внаслідок компресії периферичних нервів розташованими по ходу нервів гіпертонічними м'язами тазового поясу або нижніх кінцівок [22].

Наразі відбувається активне вивчення впливу лінійного прискорення на організм людини, зокрема на гемодинаміку [23, 24]. Гемодинамічні ефекти помірних прискорень у деяких видах спорту вкрай погано вивчені і практично перебувають поза увагою фізіологів [23, 25]. В умовах тренувальної і змагальної діяльності в кіберспорті геймери переважно більшість свого часу проводять у віртуальному просторі і зазнають впливу уявних прискорень, що також може позначатися на показниках центральної і церебральної гемодинаміки. Одним з негативних факторів, які можуть призводити до інвалідності, є вплив неадекватного вестибулярного навантаження на організм [26].

Реакція організму на вестибулярні подразники дуже різноманітна і охоплює функціонування практично всіх органів і систем. Стабілометричні дослідження дозволяють оцінити постуральний баланс

у стані спокою, зміни після фізичних навантажень різної інтенсивності та спрямованості, втоми або травмування, стан вестибулярної системи організму спортсмена, а також ефекти різних тренувальних і реабілітаційних програм [27, 28].

Показники стабілометричного дослідження, зокрема асиметрія центру тиску стоп у фронтальній площині та переміщення центру тиску стоп при зміні пози тіла використовують як діагностичні критерії функціонування нервово-м'язової системи, що дозволяє вчасно виявити появу певних передпатологічних станів опорно-рухового апарату [29].

Дані, отримані під час вимірювання м'язової сили, можуть надати важливу інформацію про стан м'язових груп тулуба, верхніх та нижніх кінцівок, плечового поясу, а саме про відповідність показників сили референтним значенням, ступінь їх асиметричності, а також про можливі ознаки патологічного стану скелетно-м'язової системи, викликаного сидячим способом життя кіберспортсменів.

Також було проведено визначення композиційного складу тіла кіберспортсменів. За допомогою біоімпедансометрії, а саме сегментарного аналізу, можна виявити асиметрію м'язової маси в окремих кінцівках, яка може суттєво впливати на техніку виконання рухів, призвести до захворювання опорно-рухового апарату та до травмувань.

Таким чином, для нашої групи досліджуваних моніторинг функціонального стану організму є дуже важливим аспектом діагностики для раннього вияв-

лення порушень та збереження здоров'я, через те, що рід їхньої діяльності передбачає малорухомий спосіб життя.

Висновки.

Нами запропоновано новий системний підхід до діагностики функціонального стану кіберспортсменів, що полягає в інструментальному дослідженні фізіологічних та антропометричних показників, які мають найбільший вплив на ефективність спортивної діяльності геймерів. Розроблено і апробовано протокол дослідження, що складається з 3-х блоків: блок I – психофізіологічне обстеження кіберспортсменів з одночасним дослідженням варіабельності серцевого ритму та стану центральної і периферичної гемодинаміки в верхніх кінцівках; блок II – дослідження загального рівня інтелекту обстежуваних в поєднанні з дослідженням реакції мозкової і центральної гемодинаміки на інтелектуальне навантаження; блок III – електронейроміографічне та стабілометричне дослідження, вимірювання сили великих груп м'язів тулуба та кінцівок, визначення композиційного складу тіла.

Перспективи подальших досліджень.

Полягають у впровадженні розробленого нами протоколу комплексного обстеження функціонального стану серцево-судинної, нервово-м'язової систем та стану психофізіологічних функцій у дослідження за участю спортсменів, що спеціалізуються у кіберспорті, для ранньої діагностики порушень та збереження здоров'я кіберспортсменів.

References / Література

- Silva AS, Correia MV, Silva HP. Invisible ECG for High Throughput Screening in eSports. *Sensors* (Basel). 2021;21(22):7601. DOI: [10.3390/s21227601](https://doi.org/10.3390/s21227601).
- Andryeyeva O, Anokhin E, Bekar S, Byshevets' N, Blahiy O, Bobrenko S, et al. *Kibersport*. Kyiv: Olimpiiska lit; 2021. 616 s. Dostupno: <https://reposit. uni-sport.edu.ua/handle/787878787/3854>. [in Ukrainian].
- Giakoni-Ramírez F, Merellano-Navarro E, Duclos-Bastías D. Professional eSports players: motivation and physical activity levels. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022;19(4):2256.
- Seo Y. Electronic Sports: A New Marketing Landscape of the Experience Economy. *Journal of Marketing Management*. 2013;29(13/14):1542–1560.
- Imas Ye. Kibersport yak sotsialno-sportyvne yavyshe v umovakh suchasnoho rozvytku informatsiinoho suspilstva. *Teoriia i metodyka fizychnoho vykhovannia i sportu*. 2020;4:13–17. DOI: <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2020.4.13-17>. [in Ukrainian].
- Anokhin E. Systema provedennia zmahan u kibersporti. *Teoriia i metodyka fizychnoho vykhovannia i sportu*. 2021;3:3–7. [in Ukrainian].
- ReoCom. Instructions for operation. Kharkiv: W.p.; 2008. 143 s. [in Ukrainian].
- Diagnostic automated complex "CARDIO+": Instructions for operation. Nizhin: W.p.; 2016. 28 s. [in Ukrainian].
- Makarenko MV, Lyzohub VS, Bezcopylnyi OP. *Metodychni vkazivky do praktykumu z dyferentsialnoi psykhofiziologii ta fiziologii vyshchoi nervovoi diialnosti liudyny*. Kyiv-Cherkasy; 2014. 102 s. [in Ukrainian].
- Raven J. *Handbook of nonverbal assessment*. Boston, MA: Springer US; 2003. Chapter, Raven progressive matrices; p. 223–237.
- Kompleks dlia psykholohychnesko testyrovannia «BOS-test». Kompaniya «Syata» – Medytsynskaia tekhnika y oborudovanye. Dostupno: <http://www.siat.net.ua/index.php/kompleks-dlya-psykholohychnesko-testyrovanniya-bos-test/>. [in Ukrainian].
- Fedorchuk S, Kutsenko T, Lysenko O. Maksymalni temp rukhu za pokaznykamy tepinh-testu yak indykator stanu dynamichnoi miazovoi vytryvalosti. *Materialy IV Mizhnar. nauk.-prakt. onlain-konf. Zdorovia, fizychno vykhovannia i sport: perspektyvy ta krashchi praktyky*; 2023 Trav 16-17; Kyiv. Kyiv: un-t imeni Borysa Hrinchenka; 2023. s. 99–101. Dostupno: <https://zfvs.kubg.edu.ua/informatsiya/2016-10-07-08-10-59/konferentsii-seminary/materialy-mizhnarodnoi-konferentsii-15-travnia-2018-r.html>. [in Ukrainian].
- Knikou M. The H-reflex as a probe: pathways and pitfalls. *Journal of neuroscience methods*. 2008;171(1):1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2008.02.012>.
- Lipa BM, Han JJ. Electrodiagnosis in neuromuscular disease. *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America*. 2012 Aug;23(3):565–587. DOI: [10.1016/j.pmr.2012.06.007](https://doi.org/10.1016/j.pmr.2012.06.007).
- Palmieri RM, Ingersoll CD, Hoffman MA. The hoffmann reflex: methodologic considerations and applications for use in sports medicine and athletic training research. *Journal of athletic training*. 2004;39(3):268–277.
- Garkavenko VV, Kolosova YeV, Mel'nichouk AP, Vasilenko DA. Stabilographic indices of humans in a semisquatting position. *Neurophysiology*. 2013;45(1):49–59.
- Seleznev I, Popov A, Kikuchi K, Kolosova E, Kolomiets B, Nakata A, et al. Detection of oriented fractal scaling components in anisotropic two-dimensional trajectories. *Sci. Rep.* 2020;10:21892. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78807-z>.
- Dr. Wolff Sports & Prevention GmbH. Training diagnostic. Arnberg; Available from: https://www.dr-wolff.de/pdf/TD_2018_EN.pdf.
- Shynkaruk OA, Lysenko OM, Hunina LM, Karlenko VP, Zemtsova II, Olishevskiy SV, et al. *Medyko-biologichne zabezpechennia pidhotovky sportsmeniv zbirnykh komand Ukrainy z olimpiyskykh vydiv sportu*. Kyiv: Olimpiiska lit; 2009. 144 s. [in Ukrainian].
- Passarello N, Varini L, Liparoti M, Troisi Lopez E, Sorrentino P, Alivernini F, et al. Boosting effect of regular sport practice in young adults: Preliminary results on cognitive and emotional abilities. *Frontiers in Psychology*. 2022;13:957281. DOI: [10.3389/fpsyg.2022.957281](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.957281).
- Kenney L, Wilmore J, David Costil D. *Physiology of Sport and Exercise*. Human kinetics; 2015. 648 s.
- Kolosova OV, Khaliavka TO, Lysenko OM. *Travmatyzm khrebtu u kvalifikovanykh sportsmeniv: metody diagnostyky*. Intehrativna antropologhiia. 2014;1(23):52–56. [in Ukrainian].

23. Bakunovskiy OM, Rozova KV, Pastukhova VA, Portnichenko VI, Portnychenko AH. Vplyv periodychnykh pomirnykh horizontalnykh liniinykh pryskoren zminnoho napriamku na tsentralnu hemodynamiku. Fiziologichnyi Zhurnal. 2021;67(4):21–28. Dostupno: https://fz.kiev.ua/journals/2021_V.67/4/2021-4-21-28.pdf. [in Ukrainian].
24. Eckberg DI. Bursting into space: alteration of sympathetic control by travel. Acta Physiol. Scand. 2003;177(2):299–311.
25. Bakunovsky OM, Andriyuk NL, Filippov MM, Portnichenko VI, Pastukhova VA, Portnichenko AG. Influence of moderate linear accelerations on the hemodynamics of fencers. Fiziol. Zh. 2019;65(3S):154.
26. Shevchuk TYa, Romanyuk AP. Features of vegetative regulation of the heart in athletes of game sports and track and field athletes. Bull. Karazin. Kharkiv. Nat. Univ. 2016;26:187–193.
27. Zech A, Steib S, Hentschke C, Eckhardt H, Pfeifer K. Effects of localized and general fatigue on static and dynamic postural control in male team handball athletes. J Strength Cond Res. 2012 Apr;26(4):1162–8. DOI: [10.1519/JSC.0d013e31822dfbbb](https://doi.org/10.1519/JSC.0d013e31822dfbbb).
28. Zemková E. Sport-specific balance. Sports Med. 2014 May;44(5):579–590. DOI: [10.1007/s40279-013-0130-1](https://doi.org/10.1007/s40279-013-0130-1).
29. Kolosova OV, Kolomiets Blu, Petrushevskiy EI. Otsinka posturalnoho balansu yunioriv, shcho spetsializuiutsia v handboli. Sportyvna medytsyna fizychna terapiia ta erhoterapiia. 2020;1:10–17. DOI: <https://doi.org/10.32652/spmed.2020.1.10-17>. [in Ukrainian].

РОЗРОБКА ПРОТОКОЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ, НЕРВОВО-М'ЯЗОВОЇ СИСТЕМ ТА СТАНУ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ КІБЕРСПОРТСМЕНІВ

Луць Ю. П., Лук'янцева Г. В., Бакуновський О. М., Федорчук С. В., Колосова О. В.

Резюме. Метою дослідження була розробка та апробація протоколу дослідження рівня спортивної працездатності кіберспортсменів, який включає в себе оцінку антропометричних показників та функціонального стану нервово-м'язової системи і проведення ряду тестів для визначення стану психофізіологічних функцій та рівня інтелекту в поєднанні з одночасним дослідженням фізіологічної ціни стандартних дозованих навантажень на інтелект та сенсорно-моторну сферу за показниками варіабельності серцевого ритму та центральної і регіональної гемодинаміки. Визначення параметрів гемодинаміки обстежених кіберспортсменів проводилося за допомогою реоенцефалографії (РЕГ) у FM- та OM-відведеннях, тетраполярної грудної імпульсності реоплетизмографії (ГРГ), реовасографії верхніх кінцівок (РВГ) та ритмокардіографії (РКГ) під час виконання спортсменами психофізіологічних тестів (з використанням діагностичного комплексу «Діагност-1» розробники М. В. Макаренко, В. С. Лизогуб) і теста Равена. Також проводилося електронейроміографічне (ЕНМГ) і стабілометричне дослідження, вимірювання сили великих груп м'язів тулуба та стегна, аналіз компонентного складу тіла.

Результати. Дослідження складається з 3-х блоків: блок I – психофізіологічне обстеження кіберспортсменів з одночасним дослідженням варіабельності серцевого ритму та стану центральної і периферичної гемодинаміки в верхніх кінцівках; блок II – дослідження загального рівня інтелекту обстежуваних в поєднанні з дослідженням реакції мозкової і центральної гемодинаміки на інтелектуальне навантаження; блок III – електронейроміографічне та стабілометричне дослідження, вимірювання сили великих груп м'язів тулуба та стегна. Між цими етапами тривали невеликі перерви для відпочинку (5-15 хвилин). Окремо проводилося анкетування та визначення композиційного складу тіла.

Висновки. За результатами роботи було розроблено протокол дослідження варіабельності серцевого ритму та стану центральної і периферичної гемодинаміки в верхніх кінцівках, загального рівня інтелекту обстежуваних в поєднанні з дослідженням реакції мозкової і центральної гемодинаміки на інтелектуальне навантаження, функціонального стану нервово-м'язової системи, постурального балансу, стану психофізіологічних функцій кіберспортсменів, сили великих груп м'язів тулуба та стегна, а також визначення композиційного складу тіла.

Ключові слова: реографія, стан психофізіологічних функцій, електронейроміографія, стабілометрія, кіберспорт.

DEVELOPMENT OF A PROTOCOL FOR THE STUDY OF THE FUNCTIONAL STATE OF THE CARDIOVASCULAR AND NEUROMUSCULAR SYSTEMS AND THE STATE OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL FUNCTIONS OF E-ATHLETES

Luts Yu. P., Lukiyantseva H. V., Bakunovskiy O. M., Fedorchuk S. V., Kolosova O. V.

Abstract. The purpose of the study was the development and approval of a protocol for researching the level of sports performance of cyber-athletes, which includes the assessment of anthropometric indicators and the functional state of the neuromuscular system and conducting a number of tests to determine the state of psychophysiological functions and the level of intelligence in combination with a simultaneous study of the physiological price of standard dosed loads on the intellect and sensory-motor sphere according to indicators of heart rate variability and central and regional hemodynamics. The hemodynamic parameters of the examined e-athletes were determined using rheoencephalography (REG) in the FM and OM leads, tetrapolar thoracic impedance rheoplethysmography (GRG), rheovasography of the upper extremities (RVG) and rhythmocardiography (RCG) during the athletes' performance of psychophysiological tests (using the diagnostic complex "Diagnost-1", M.V. Makarenko, V.S. Lyzogub) and Raven's test. An electromyographic and stabilometric study, measurement of the strength of large groups of trunk and thigh muscles, and analysis of the component composition of the body were also carried out.

The results. The study consists of 3 blocks: block I – psychophysiological examination of cyber-athletes with a simultaneous study of heart rate variability and the state of central and peripheral hemodynamics in the upper limbs; block II – study of the general level of intelligence of the examinees in combination with the study of the reaction of cerebral and central hemodynamics to intellectual load; block III – electroneuromyographic and stabilometric study, measuring the strength of large groups of muscles of the trunk and thigh. Between these stages there were small breaks for rest (5-15 minutes). Questionnaires and determination of body composition were conducted separately.

Conclusions. Based on the results of the work, a protocol was developed for the study of heart rate variability and the state of central and peripheral hemodynamics in the upper limbs, the general level of intelligence of the exam-

inees in combination with the study of the reaction of cerebral and central hemodynamics to intellectual load, the functional state of the neuromuscular system, postural balance, state of psychophysiological functions of e-athletes, the strength of large groups of muscles of the trunk and thigh, as well as determining the composition of the body.

Key words: rheography, state of psychophysiological functions, electroneuromyography, stabilometry, e-sport.

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

Luts Y. P.: <https://orcid.org/0000-0001-9374-3732>^{ABDF}

Lukyantseva H. V.: <https://orcid.org/0000-0002-8054-0108>^{DEF}

Bakunovskiy O. M.: <https://orcid.org/0000-0001-6546-1025>^{BD}

Fedorchuk S. V.: <https://orcid.org/0000-0002-2207-9253>^{BD}

Kolosova O. V.: <https://orcid.org/0000-0001-9263-805X>^{BD}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors of the article confirm the absence of a conflict of interest. / Автори статті підтверджують відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Luts Yuliya Petrivna / Луць Юлія Петрівна

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

Ukraine, 02000, Kyiv, 1 Fizkultury str / Адреса: Україна, 02000, м. Київ, вул. Фізкультури 1

Tel.: 0996015635 / Тел.: 0996015635

E-mail: yulialuts06@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 статистичний аналіз, **D** – написання статті, **E** – критичний огляд, **F** – остаточне затвердження статті.

Received 14.05.2023 / Стаття надійшла 14.05.2023 року
Accepted 06.11.2023 / Стаття прийнята до друку 06.11.2023 року