

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького

ISSN (Print): 2076-5835
ISSN (Online): 2518-1211

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1

**ВІСНИК
ЧЕРКАСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ**
Серія
БІОЛОГІЧНІ НАУКИ

**BULLETIN
OF THE CHERKASY BOHDAN KHMELNYTSKY
NATIONAL UNIVERSITY
BIOLOGICAL SCIENCES**

Науковий журнал
Виходить 2 рази на рік

№1. 2024

Черкаси – 2024

**Засновник, редакція, видавець і виготовлювач –
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького.
Ідентифікатор медіа в Реєстрі суб'єктів у сфері медіа R30-01521.**

Науковий збірник містить статті, в яких розглядаються актуальні проблеми сучасної біологічної науки. Авторами робіт є доктори, кандидати наук, аспіранти та студенти вищих навчальних закладів та наукових установ різних регіонів України.

Для широкого кола науковців, викладачів, аспірантів та студентів.

Наказом Міністерства освіти і науки України від 17.03.2020 №409 включено до Переліку наукових фахових видань України категорії "Б"

Випуск № 1 наукового журналу Вісник Черкаського університету, серія «Біологічні науки» рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет Вченою радою Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького (протокол № 11 від 20.06.2024).

Журнал індексується в наукометричних базах даних Google Scholar, Ulrichsweb.

Редакційна колегія серії:

Лизогуб В.С., д.б.н., проф. (відповідальний редактор); Светлова О.Д., к.б.н., доц. (відповідальний секретар); Абуладзе А.В., к.б.н. (Грузія); Анна Радохонська, д.б.н., проф. (Польща); Башенко М.І., академік НААН, д.с.-г.н., проф.; Гаврилюк М.Н., к.б.н., доц.; Давидова О. М. к.б.н, доц. (США), Зима І.Г., д.б.н., ст.н.сп., доц., Ілюха Л.М., к.б.н., доц.; Коваленко С.О., д.б.н., проф.; Коробейнікова Л.Г. д.б.н, проф., Лисенко О.М. д.б.н., проф., Макарчук М.Ю., д.б.н., проф.; Освальд Руксенас, д.б.н., проф. (Литва); Спрягайло О.В., к.б.н., доц.; Хоменко С.М., к.б.н., доц.; Юхименко Л.І., д.б.н., доц.

За дотримання права інтелектуальної власності, достовірність матеріалів та обґрунтування висновків відповідають автори.

Адреса редакційної колегії:

18031, Черкаси, бульвар Шевченка, 81, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації.

Тел. (0472) 45-44-23

<http://bio-ejournal.cdu.edu.ua/index>

svetlova_2004@ukr.net

Founder, editorial, publisher and manufacturer –
Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy
Media Identificator in the Register of Media Sector Subjects R30-01521.

This journal is meant for teachers, researchers, postgraduates and students.

Journal is entered into the «List of scientific professional editions of Ukraine of category «B» in which results of dissertational researches in competition for scientific degrees of doctor of science and candidate of science (PhD) may be published by a Decree of MES of Ukraine dd 13.07.2015 No 747

Issue №1 of the scientific journal «Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky national university. Biological sciences» is recommended for publication and dissemination through the Internet by the Academic Council of Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy (protocol number 11 dated 20.06.2024).

The journal are indexed in an international scientific and metric databases Ulrichsweb (Ulrich's Periodicals Directory) and Google Scholar.

Editorial board:

Chief editor: Doctor of Biological Sciences, Professor Volodymyr Serhiiovych Lyzohub.

Executive secretary: PhD (Candidate of Biological Science), Assistant Professor Olena Dmitrivna Svetlova.

A.V. Abuladze, Candidate of Biological Sciences (PhD), Assistant Professor (Georgia); Anna Radokhonska, Doctor of Biological Sciences, Professor (Poland); M.I. Bashchenko, Academician of the National Academy of Agricultural Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, M.N. Gavrilyuk, Candidate of Biological Sciences (PhD), Assistant Professor; Davydova E. PhD, Assistant Professor (USA); Iliukha L.M., Candidate of Biological Sciences (PhD), Assistant Professor; Khomenko S.M. Candidate of Biological Sciences (PhD), Assistant Professor; Kovalenko S.O. Doctor of Biological Sciences, Professor; Korobeynikova L.G. Doctor of Biological Sciences, Professor; Lysenko O.N. Doctor of Biological Sciences, Professor; M.Yu. Makarchuk, Doctor of Biological Sciences, Professor; Oswald Ruksenas, Doctor of Biological Sciences, Professor (Lithuania); Spryagaylo O.V. Candidate of Biological Sciences (PhD), Assistant Professor; Yukhymenko L.I. Doctor of Biological Sciences, Assistant Professor; Zyma I.G. Doctor of Biological Sciences, Senior Research Fellow

The authors are responsible for the observance of the intellectual property right, for the reliability of the materials and for the substantiation of the conclusions.

Editorial office address:

18031, Cherkasy, Shevchenko Blvd., 81
Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy
Phone. (0472) 45-44-23
<http://bio-ejournal.cdu.edu.ua/index>
svetlova_2004@ukr.net

©Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, 2024
©Copyright by the contributors

УДК 544.163.3

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-4-6

Максим Никандрович Гаврилюк

Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького
gavrilyuk.m@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5729-8184>

Володимир Сергійович Лизогуб

Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького
v_lizogub@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3001-138X>

ДО 90-РІЧНОГО ЮВІЛЕЮ ФЕДОРА ФЕДОРОВИЧА БОЄЧКА

У статті висвітлено основні періоди життя, наукової та педагогічної діяльності доктора біологічних наук, професора, заслуженого працівника вищої школи України, члена-кореспондента Національної академії педагогічних наук України Федора Федоровича Боєчка. Матеріали статті висвітлюють напрями наукових інтересів ученого, до яких належать вивчення впливу вітамінів, мікроелементів і їх комплексів на обмінні процеси в організмі та його імунізаційні функції в нормальних умовах та за умов дії малих доз іонізуючої радіації. Під його керівництвом створена наукова школа з біохімії. Федір Федорович є автором близько 200 наукових і науково-методичних праць, серед яких понад 20 підручників та посібників. Відомий педагог та адміністратор – протягом 1975–1979 рр. – ректор Уманського державного педагогічного інституту, у 1979–2000 рр. – ректор Черкаського педагогічного інституту (з 1995 – державний університет).

Ключові слова: Федір Федорович Боєчко, біохімія, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, історія біології.



13 травня 2024 року виповнилось 90 років від дня народження відомого біохіміка, доктора біологічних наук, професора, заслуженого працівника вищої школи України, члена-кореспондента Національної академії педагогічних наук України Федора Федоровича Боєчка.

Федір Боєчко народився у с. Семаківці Коломийського району Івано-Франківської області. Батьки – Федір Іванович та Олена Михайлівна – працювали в колгоспі. Середню школу Ф. Ф. Боєчко закінчив у сусідньому селі Корнич, вищу освіту здобув протягом 1952-1957 рр. на біологічному факультеті Чернівецького державного університету, де спеціалізувався на кафедрі біохімії.

Після закінчення навчання в університеті за направленням працював учителем хімії й біології та виконував обов'язки завуча Козирянської середньої школи на Буковині. Протягом 1957–1960 рр. навчався в аспірантурі при кафедрі біохімії Чернівецького державного університету. Його науковий керівник – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри біохімії, ректор університету К. М. Леутський. Після завершення аспірантури отримав направлення на роботу до Уманського педагогічного інституту на посаду асистента на природничо-географічному факультеті.

У 1961 р. Ф. Ф. Боєчко захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук у Київському державному університеті ім. Т. Г. Шевченка. Її тематика була пов'язана з дослідженням впливу вітамінів і мікроелементів на обмінні процеси в організмі людини і тварин.

У 1962 р. за ініціативи Ф.Ф. Боєчка в Уманському педінституті було створено кафедру хімії, яку він очолював упродовж 15 років. Завдяки Ф. Ф. Боєчку в 1960-х роках на кафедрі

створено біохімічну науково-дослідницьку лабораторію, також він запровадив викладання нової хімічної дисципліни – хімії полімерів.

Упродовж 1964–1969 рр. Ф. Ф. Боєчко – проректор з навчально-виховної й наукової роботи. У 1966 р. отримав вчене звання доцента кафедри хімії.

У 1974 р. захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук в Інституті біохімії імені О. В. Палладіна НАН України на тему: «Вивчення ролі мікроелементів (кобальту, марганцю і олова) в ліпідному обміні». У 1976 р. отримав учене звання професора.

У 1975 р. Ф. Ф. Боєчка призначено ректором Уманського педагогічного інституту, а вже у 1979 р. його перевели на посаду ректора Черкаського педагогічного інституту. Федір Федорович успішно керував навчальним закладом упродовж 21 року (1979–2000 рр.). За його керівництва Черкаський педінститут активно розвивався – було відкрито понад 10 нових спеціальностей, створено ряд факультетів і кафедр; суттєво зміцнено навчально-матеріальну базу; посилено кадровий потенціал шляхом направлення на навчання випускників в аспірантурі, а також запрошення на роботу ряду професорів та доцентів з інших міст. У 1994 р. Черкаський державний педагогічний інститут вперше було акредитовано за найвищим – четвертим рівнем. Завдяки Ф. Ф. Боєчку та Черкаській обласній раді педінститут у 1995 р. отримав статус державного університету з присвоєнням імені Богдана Хмельницького.

З 1994 р. Ф. Ф. Боєчка було обрано членом-кореспондентом Академії педагогічних наук України.

Попри зайнятість на адміністративній посаді, Ф. Ф. Боєчко активно займався науковою та викладацькою діяльністю. Основний напрямок наукових досліджень – вивчення впливу вітамінів, мікроелементів і їх комплексів на обмінні процеси в організмі та його імунізаційні функції в нормальних умовах, а після 1986 року – також за умов дії малих доз іонізуючої радіації. Разом із групою викладачів професором Ф. Ф. Боєчком розроблено, апробовано й запатентовано спосіб реабілітації функцій імунної системи в осіб, що зазнали впливу факторів аварії на Чорнобильській АЕС.

Ф. Ф. Боєчко – автор близько 200 наукових та науково-методичних праць. Важливим напрямком його діяльності є підготовка та видання підручників та посібників для студентів ВНЗ, училищ, учителів та учнів шкіл. Зокрема, ним написано й видано перший в Україні навчальний посібник з хімії полімерів для студентів природничих факультетів ВНЗ («Хімія полімерів», 1965). Серед інших праць слід відзначити навчальні посібники для студентів: «Основи хімії полімерів» (1976, 1988, 2008), «Хімічна сировина та способи її переробки» (1980), «Основи органічної і біологічної хімії» (1983), «Органічна хімія» Серія «Біологічні науки», 2014 (1986), «Біологічна хімія» (1989, 1995, 2011), «Основні біохімічні поняття, визначення і терміни» (1993); «Біохімія» (1997, 1998), «Збірник задач і вправ з біологічної хімії» (2000), «Основи молекулярної біології» (2010), «Основи молекулярної біології (курс лекцій)» (2013); практикуми: «Лабораторно-практичні заняття з органічної хімії» (1984), «Біохімічні методи досліджень» (2005), «Біохімія. Практикум. Статика» (2006), «Біохімія. Практикум. Динаміка» (2007), Лабораторний практикум з біохімії (2012). Багато зі згаданих праць написано разом із Любов Олександрівною Боєчко (1942–2017), яка протягом всього спільного життя була не тільки дружиною, а й надійним помічником і колегою.

Підручник «Органічна хімія» (2002), підготовлений і виданий у співавторстві з викладачами кафедри органічної хімії В. М. Найданом та А. К. Грабовим, рекомендований Міністерством освіти і науки України для учнів 10-11-х класів з поглибленим вивченням хімії в загальноосвітніх школах. Для вчителів шкіл були написані та видані також посібники: «Вибрані розділи курсу неорганічної хімії середньої школи» (1973), «Білок і кормовиробництво» (1987), «Біохімія для вчителя» (1985).

Протягом 1998–2019 рр. Ф. Ф. Боєчко очолює кафедру біохімії (згодом її об'єднали з кафедрою біології). У 2008 р. за участю Федора Федоровича в університеті був створений Науково-дослідний інститут фізіології імені Михайла Босого, де він очолював відділ біохімії. Під його керівництвом створена наукова школа з біохімії – захистили кандидатські

дисертації Д. М. Захарик, Г. С. Сизоненко. З 2019 р. Федір Федорович на заслуженому відпочинку. За вагомий внесок у розвиток Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького, у 2024 р. його нагороджено медаллю «За розбудову університету».

Активна громадська та наукова діяльність Ф. Ф. Боєчка була відзначена державою: він нагороджений Орденом Трудового Червоного Прапора (1978), медаллю «За доблесну працю. В ознаменування 100-річчя з дня народження В. І. Леніна» (1970), медаллю А. С. Макаренка (1988), медаллю К. Д. Ушинського, нагрудним знаком «Відмінник народної освіти України» (1975), нагрудним знаком «Заслужений працівник вищої школи УРСР» (1984), Почесною грамотою Президії Верховної Ради УРСР. Громадськість визнала його Почесним громадянином міста Черкаси, у 1999 р. нагороджений пам'ятним знаком «За заслуги перед містом Черкаси» I ступеня, у в 2024 р. – відзнакою Черкаської міської ради «За звитяги в ім'я Черкас "Остафій Дашкович"».

Гордістю Федора Федоровича є не лише його наукові й педагогічні здобутки, а й велика та міцна родина. Розпочату справу продовжують його діти – Владислав і Наталія, які займаються науковою діяльністю, доценти, працюють викладачами закладів вищої освіти.

З нагоди славного ювілею колектив Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького зичить Федорові Федоровичу Боєчку міцного здоров'я і активного довголіття.

Список використаної літератури

1. Лизогуб В. С., Дерій С. І., Гаврилюк М. Н. Життєвий і творчий шлях Федора Федоровича Боєчка // Вісник Черкаського університету. Серія Біологічні науки. 2014. № 2 (295). С. 3–6.
2. Боєчко Федір Федорович // Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького. К.: Вид-во «Світ успіху», 2009. С. 36.

References

1. Lyzogub, V. S., Derij, S. I., Gavrilyuk, M. N. Vital and creative way of Fedor Fedorovich Boyechko. *Cherkasy University Bulletin: Biological Sciences Series*. 2014. 2 (295). 3–6. (in Ukr.).
2. Boyechko Fedir Fedorovich. *Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy*. K.: Svit Uspikhu [The World of Success], 2009. 36. (in Ukr.).

Gavrilyuk, M. N., Lyzogub, V. S. TO 90 YEARS FROM THE BIRTHDAY OF FEDIR FEDOROVYCH BOYECHKO

The article highlights the main periods of life, scientific and pedagogical activity of the Doctor of Biological Sciences, Professor, Fedir Fedorovich Boyechko. He was born on 13.05.1934. The main directions of Boyechko's scientific interests are study of the influence of vitamins, microelements and their complexes on metabolic processes in the body and its immunoprotective functions under normal conditions and under conditions of action of small doses of ionizing radiation. He graduated from Chernivtsi National University in 1957. After postgraduate studies she defended a thesis and obtained a scientific degree of PhD in biology in 1961. Since 1974, he has held a Doctor of Science in biology, Profesor of Biochemistry since this year. During 1975–1979, he was the rector of the Uman State Pedagogical Institute, in 1979–2000 – rector of the Cherkasy Pedagogical Institute (the State University from 1995). He was the head of the biochemistry department in 1998–2019. A scientific school of biochemistry was created under his leadership. He is the author of about 200 scientific and scientific-methodological works, including more than 20 textbooks and manuals for students and schoolchildren. Such as "Biochemistry", "Organic chemistry", "Chemistry of polymers" etc. He is a co-author of a patent on a method of rehabilitation of the functions of the immune system in persons exposed to the factors of the accident at the Chernobyl nuclear power plant. He has many awards from the university, the local government and the government. Profesor Boyechko is a corresponding member of the Ukrainian Academy of Pedagogical Sciences. He is an honored employee of a higher school of Ukraine.

Key words: Boyechko Fedir Fedorovich, biochemistry, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, history of biology.

Одержано редакцією: 22.04.2024

Прийнято до публікації: 13.05.2024

UDC 612.133

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-7-17

Volodymyr Ilyin

National University of Ukraine on Physical Education and Sport

ilyin_nufvsu@ukr.netORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7140-0659>**Mykhailo Filippov**

National University of Ukraine on Physical Education and Sport

filmish@ukr.netORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5096-7445>**Valerii Vynohradov**

Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University

masterv1390@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1168-5557>

PREVALENCE OF CHRONIC FATIGUE AND CHRONIC FATIGUE SYNDROME IN UKRAINIAN ELITE ATHLETES: RESULTS FROM A POPULATION-BASED STUDY

A large group of high-level athletes, members of national and club teams of Ukraine in various sports, participated in the research: track and field, cycling, wrestling, swimming, freestyle, hockey, football, rowing, sports dancing, and rock climbing.

During the study, tests were conducted to identify signs of chronic fatigue, chronic fatigue syndrome and fibromyalgia.

After the analysis, it was found that out of 286 surveyed athletes, 101 (35,3%) showed no signs of current or chronic fatigue, while 169 (59%) exhibited symptoms of chronic fatigue. Among those showing signs of chronic fatigue, 71 (25%) had signs of the initial degree, 29 (10%) showed signs of expressed degree, and 17 (6%) exhibited signs of strong chronic fatigue. Additionally, it was observed that symptoms of chronic fatigue are more common in female athletes, with 49.0% of women compared to 37% of men experiencing them.

Analysis of the frequency of chronic fatigue symptoms across different sports disciplines revealed that athletes with signs of chronic fatigue are most commonly swimming (71% of all surveyed swimmers), track and field athletics (62%), and football (54%). Additionally, in football, track and field, wrestling, and cycling, a higher proportion of athletes with a strong degree of chronic fatigue were identified compared to other sports disciplines (16%, 12%, 8%, and 7%, respectively). Conversely, chronic fatigue syndrome was rarely encountered in sports such as freestyle and rock climbing.

Out of the athletes displaying signs of chronic fatigue of a severe and strong degree, there were 46 in total (20 women, 26 men). Upon analysis, it was discovered that symptoms of chronic fatigue syndrome (CFS) were detected in 30 of them (66.2%), while 3 (6.5%) were diagnosed with fibromyalgia. Among these 30 athletes with CFS symptoms, 13 (43.3%) were female athletes, and 17 (56.7%) were male athletes. Symptoms of fibromyalgia were noted in two (4.3%) male athletes and one (2.2%) female athlete.

Keywords: *high-level athletes, chronic fatigue, chronic fatigue syndrome, fibromyalgia*

Introduction. Currently, the technology for preparing high-level athletes relies on fundamental domains of knowledge concerning the functioning of humans in elite sports. without which it is impossible to construct an effective training process aimed not only at achieving high athletic performance but also at preserving athletes' health.

Modern high-performance sports involve extreme physical and psychological influences on athletes' bodies [1]. Excessive escalation of sports loads in high-level and elite sports is irrational, as it adversely affects athletes' health [2]. Unduly large volumes of work, aimed at increasing fitness, lead to the development of distress. As a consequence, "fluctuations" in the immune system occur, predisposing to pre-illness states and illnesses. As a result, over 50% of

athletes have deviations in their health status [3, 4]. According to conducted research, high-level athletes constitute a special group. In conditions of intensive and prolonged training and competitive loads, states characterized by the overstrain of functional systems of the body may occur, which can lead to the development of overtraining and the transition of favorable adaptive reactions to pre-pathological and even pathological changes in the body [5]. Overtraining is a chronic syndrome whose symptoms encompass both physiological and psychological manifestations [6, 7]. Overtraining occurs when an athlete consistently performs high training volume without sufficient rest between individual sessions: short intervals of rest between intense loads do not provide the necessary recovery of the body's strength. Overtraining development is facilitated by disruptions in the regime of life, work, and rest. Overstrain and overtraining frequently arise in high-level athletes [8, 9]. Overtraining is characterized as a disparity between load and recovery [6]. During periods of overstrain and overtraining, low-level disorders, bordering on pathological disturbances, are uncovered. These are accompanied by functional and sometimes organic changes in the athlete's body, resulting in significant and long-term decreases in performance and the development of acute and chronic fatigue [10].

In cases of chronic fatigue (CF) or fibromyalgia syndrome (FS), there are noticeable dystrophic and destructive changes in muscle fibers. One of the reasons for their occurrence is hypoxia and disturbances in tissue microcirculation of the musculoskeletal system. Increased excitability, mood swings, reluctance to train, and lethargy are often observed. The predominant inhibition processes, in turn, slow down the recovery processes. The main symptom of chronic fatigue is the deterioration of athletic performance. Accompanying manifestations of these changes can include sports injuries, depression, and an increased susceptibility to infections [2]. In chronic fatigue, the necessary level of athletic performance can only be maintained temporarily due to an increase in biological cost and rapid expenditure of the body's functional reserves [5].

To counter adverse changes in the body's functions and maintain athletic performance, it's crucial to address violations of training and rest schedules and provide athletes with additional rest. Failing to adhere to these measures can result in the development of chronic fatigue syndrome [11]. This is supported by numerous studies demonstrating that in high-level athletes, the emergence of acute and chronic fatigue under prolonged, intensive physical and psychological stress can lead to chronic fatigue syndrome [12, 13]. This progression is typically preceded by early changes in the functional, psychophysiological, and mental state along with, the development of overtraining and chronic fatigue.

Continuous monitoring of athletes' functional state against the background of intensive, extensive training loads is necessary. In case of early signs of chronic fatigue, if corrective measures are not taken in the training process, more serious and multifunctional changes occur in the tissues of the musculoskeletal system, cardiac muscle, and other organs and systems. Identifying these early changes can contribute to identifying risk groups and developing methods for preventing chronic fatigue and chronic fatigue syndrome based on correction of training loads [14].

Materials and methods. The article is based on scientific data published in domestic and foreign literature, as well as materials from multi-year research conducted by the authors at the National University of Physical Education and Sport of Ukraine, at the State Scientific Research Institute of Physical Education and Sport, at the O.O. Bogomolets Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, and at the International Center for Astronomical and Medical-Ecological Research of the National Academy of Sciences of Ukraine. A large group of high-level athletes, members of national and club teams of Ukraine in various sports, participated in the research: track and field, cycling, wrestling, swimming, freestyle, hockey, football, rowing, sports dancing, and rock climbing.

During the investigation to identify signs of chronic fatigue and assess its severity among athletes, the Leonov's questionnaire "Determination of the Degree of Chronic Fatigue" [15] and the Neil-Gordon questionnaire) [3] were used.

Additionally, an express test was employed to ascertain the presence of chronic fatigue syndrome and fibromyalgia, using clarified criteria for diagnosing fibromyalgia as adopted by the American College of Rheumatology (ACR) in 2011: a generalized pain index (WPI) exceeding 7 and a severity of symptoms (SS) surpassing 5 [16].

Results. The frequency and severity of chronic fatigue symptoms were assessed using the Leonov questionnaire "Determination of the degree of chronic fatigue," which comprises 36 questions including 6 "direct" and 30 "indirect" ones. After calculating the overall scores, they were interpreted as follows: 0–17 points indicate an absence of chronic fatigue symptoms; 18–26 points suggest an initial degree of chronic fatigue; 27–37 points indicate a expressed degree of chronic fatigue; 38–48 points signify a strong degree of chronic fatigue; and 49 points and above suggest the transition of chronic fatigue into a pathological condition (chronic fatigue syndrome). The study involved 286 qualified athletes (118 females, 168 males) ranging from 16 to 37 years old, holding titles such as (Candidate Master of Sports, Master of Sports, Master of Sports International Class., Honored Master of Sports). They were members of national and club teams of Ukraine, specializing in ten different sports disciplines.

During the processing questionnaire data, a differentiation was made between current fatigue and chronic fatigue (CF). In this case symptoms of current fatigue were observed over several days, whereas chronic fatigue persisted for 30 days or more..

After analyzing the data, it was discovered that out of 286 surveyed athletes, 101 (35.3%) displayed no signs of current or chronic fatigue, while 169 (59%) exhibited symptoms of chronic fatigue, Among those showing signs of chronic fatigue, 71 (25%) displayed symptoms of the initial degree, 29 (10%) showed signs of a expressed degree of chronic fatigue, and 17 (6%) exhibited signs of strong chronic fatigue. Additionally, the analysis revealed that symptoms of chronic fatigue are more prevalent among female athletes, with 49.0% of women experiencing symptoms compared to 37% of men (refer to Figure 1).

This finding aligns with existing literature [17]. Concurrently, it was discovered that a severe degree of chronic fatigue is more prevalent in men (10%) than women (1%). This discrepancy could be attributed to the higher representation of men in sports characterized by intense physical demands, such as wrestling, football, and hockey. An analysis of the frequency of chronic fatigue symptoms across different sports disciplines revealed that athletes with exhibiting signs of chronic fatigue are most commonly found in swimming (71% of all surveyed swimmers), track and field athletics (62%), and football (54%). In football, track and field athletics, wrestling, and cycling, a higher proportion of athletes with a strong degree of chronic fatigue were identified compared to other sports disciplines (16%, 12%, 8%, and 7%, respectively). Conversely, chronic fatigue syndrome was rarely encountered in sports like freestyle and rock climbing (refer to Figure 2).

The data suggests that in sports such as football, track and field athletics, swimming, wrestling, and hockey, training and competitive loads for individual athletes may face excessively high training and competitive loads, leading to slowed recovery processes in their bodies.

Coaches, methodologists, and medical staff should pay attention to the need for adjusting the structure and intensity of training sessions for these athletes. They should also ensure the consistent and comprehensive implementation of methods and strategies for sports performance recovery, including aspects like daily routines and monitoring the functional state of the body's systems, especially in sports disciplines with the highest frequency of chronic fatigue manifestations Furthermore, it's crucial to incorporate means aimed at enhancing the body's nonspecific resistance throughout all stages of the training and competitive processes [18]. Recovery methods means should be integrated into the overall athlete's training plan of athletes, closely linked with the general organization of the training regimen.

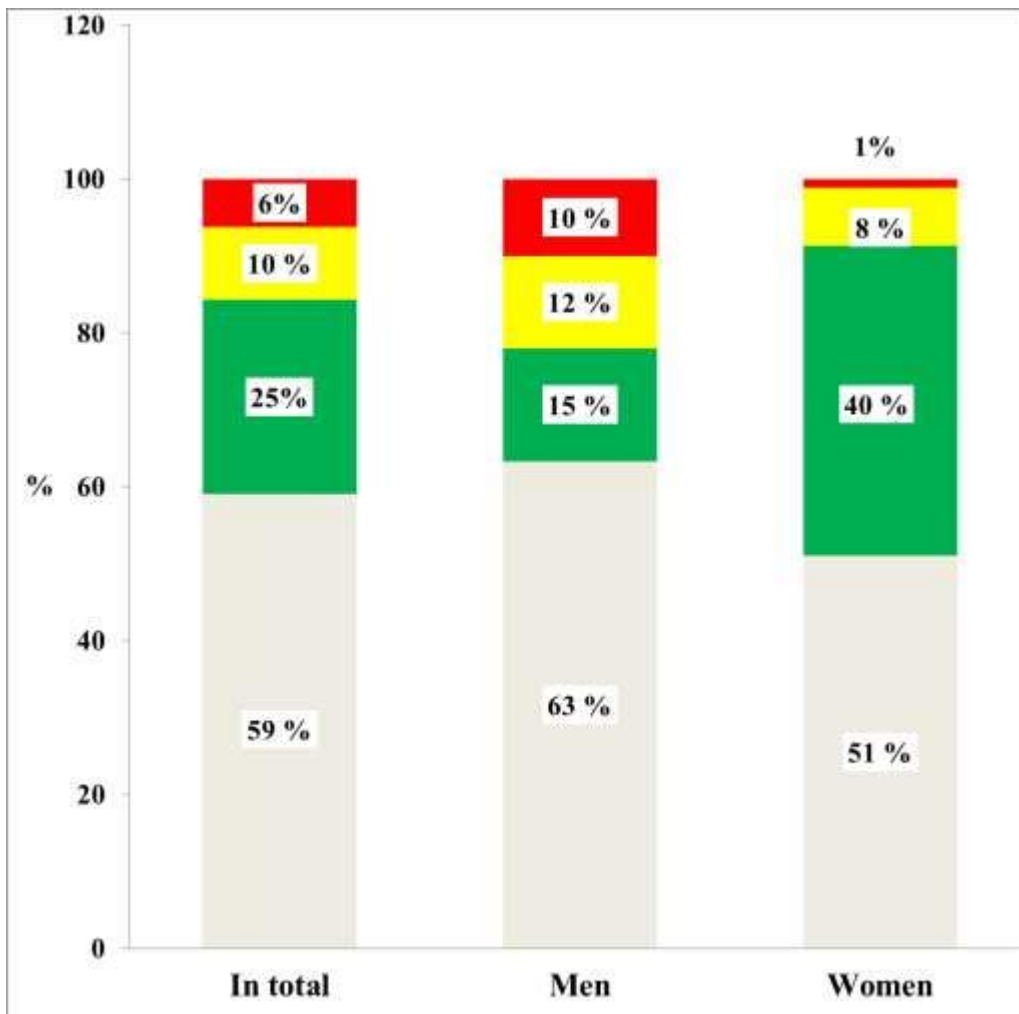


Fig. 1. Frequency in % of manifestations of signs of chronic fatigue of various degrees in interviewed athletes in general and separately for men and women:

- absence of CF;
- initial degree of CF;
- expressed degree of CF;
- strong degree of CF

The study also delved into investigated the frequency of chronic fatigue symptoms based on the athlete's qualification level. The results are depicted in Figure 3. It's evident that as sports qualification rises, there's a slight increase of 3–4% in the number of athletes displaying signs of chronic fatigue.

However, when compared to Candidate Masters of Sports (6%), both among Masters of Sports and Masters of Sports International Class, exhibit a higher prevalence of athletes with a expressed and strong degree of chronic fatigue increases (16% and 18%, respectively).

Conversely, only, in a very small proportion number of Honored Masters of Sports (2%), showed signs of a pronounced degree of chronic fatigue with no signs of severe fatigue observed.

To identify chronic fatigue syndrome (CFS) among highly qualified athletes with signs CF of a expressed and strong degree, an express test containing three typically indicated the presence of chronic fatigue syndrome simple questions was used. Affirmative responses to these three questions, then most likely they had chronic fatigue syndrome. For diagnosing fibromyalgia, the criteria established by the American College of Rheumatology (ACR) were employed, incorporating the widespread pain index (WPI) and symptom severity scale (SS) [16].

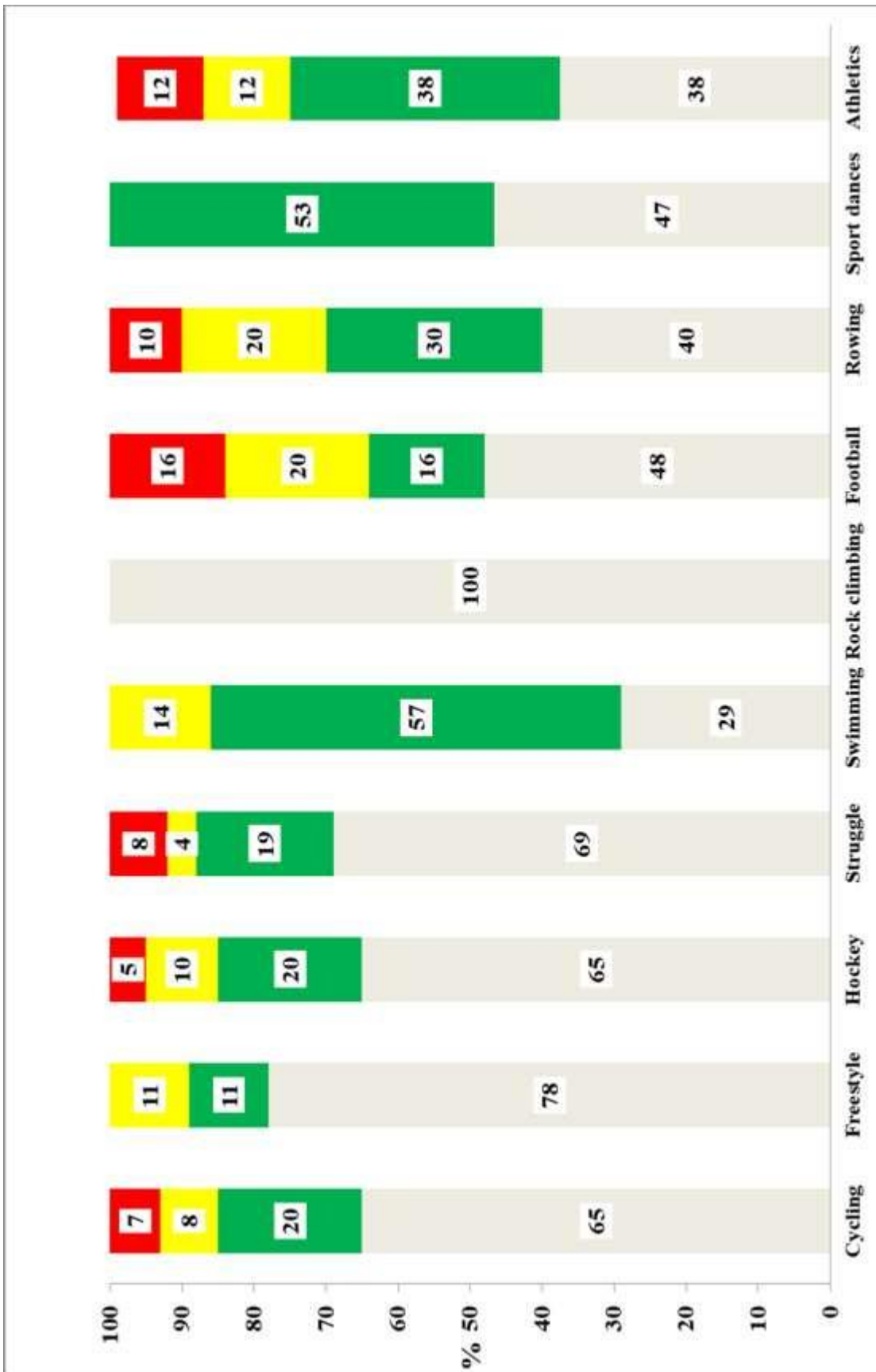


Fig. 2. The frequency of manifestations of signs of chronic fatigue in athletes in various sports:

– absence of CF;
 – initial degree of CF;
 – expressed degree of CF;
 – strong degree of CF

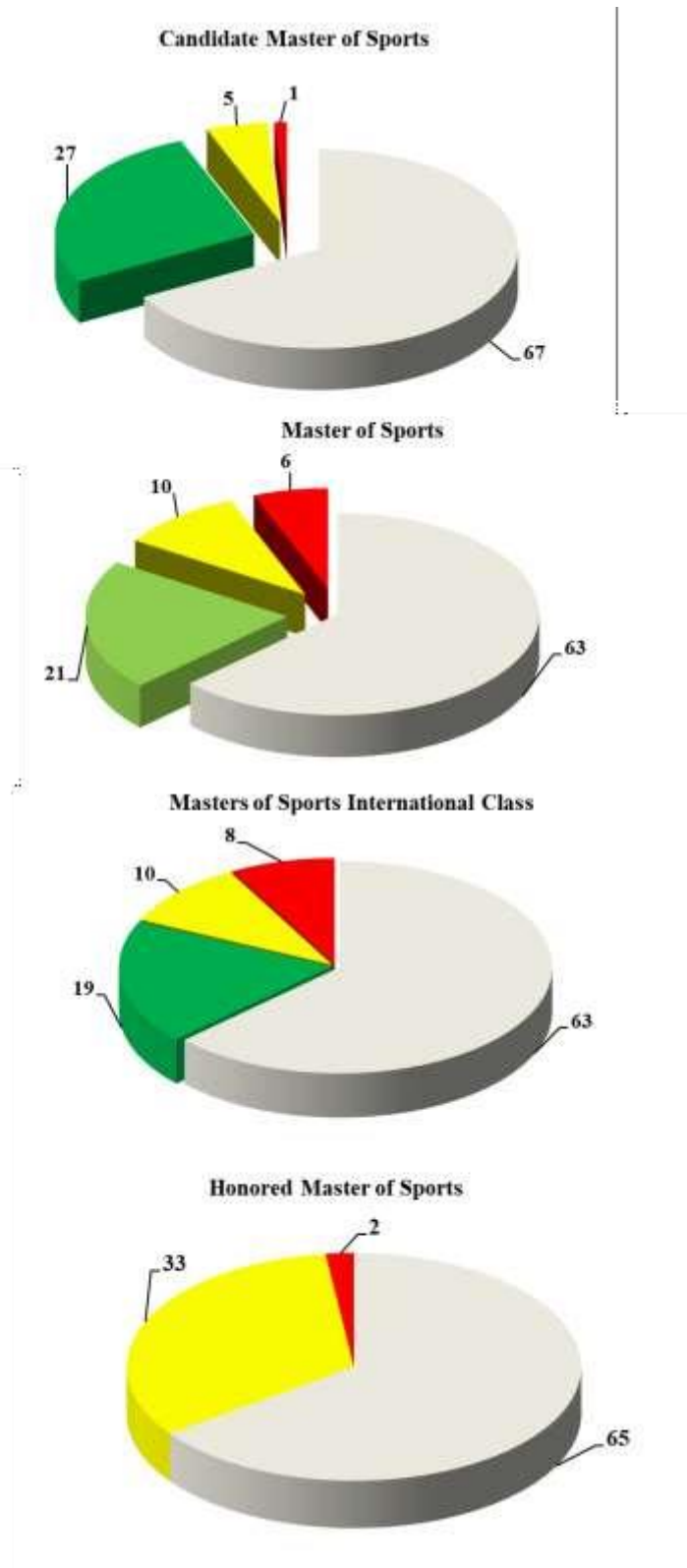






Fig. 3. Frequency in % of manifestations of chronic vomiting in athletes of various qualifications: Candidate Master of Sports (CMS), Master of Sports (MS), Masters of Sports International Class (IMS), Honored Master of Sports (HMS)

- | | | | |
|---|---------------------------|---|-------------------------|
|  | – absence of CF; |  | – initial degree of CF; |
|  | – expressed degree of CF; |  | – strong degree of CF |

Among the athletes exhibiting signs of chronic fatigue of a expressed and strong degree was 46 in total, including 20 women and 26 men. The analysis revealed that 30 of them (66.2%) displayed symptoms indicative of chronic fatigue syndrome (CFS), while 3 (6.5%) were diagnosed with fibromyalgia. Of these 30 athletes with symptoms of CFS, 13 (43.3%) were female athletes, and 17 (56.7%) were male athletes. Additionally, symptoms of fibromyalgia were observed in two (4.3%) male athletes and one (2.2%) female athlete.

The data analysis revealed that symptoms of chronic fatigue syndrome (CFS) occur more frequently in male athletes than in female athletes – in 56.7% of men displaying symptoms compared to 43.3% of women (refer to Figure 4). This trend can be attributed to the higher percentage of male athletes with severe and pronounced CFS symptoms (22%) compared to women (9%) (see Fig. 1).

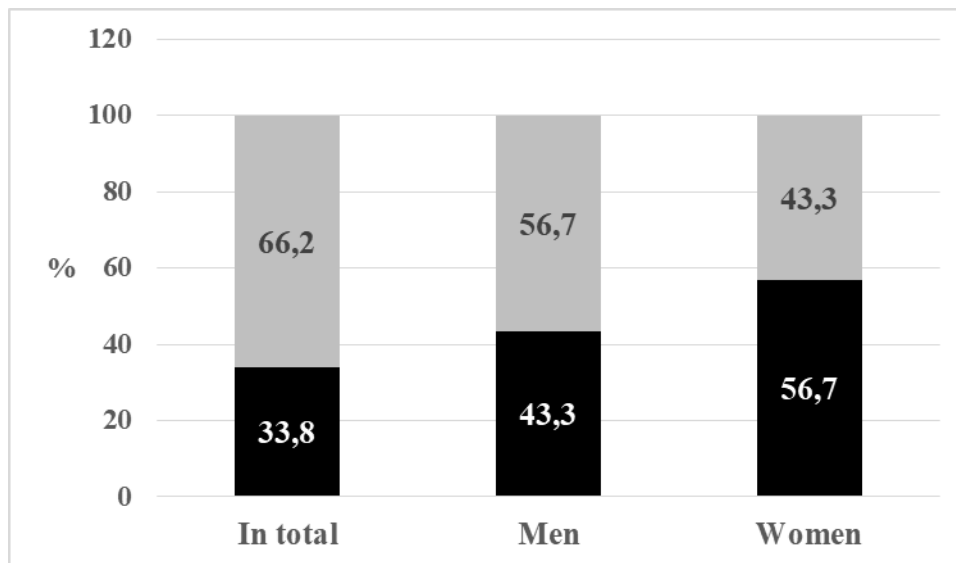


Fig. 4. Frequency of presence in percentage of chronic fatigue syndrome in athletes with signs of severe and severe chronic fatigue:

■ – absence of CFS □ – availability of CFS.

These findings suggest that in athletes with expressed and strong degrees of chronic fatigue, there is a increased risk of progressing from chronic fatigue to CFS without preventive measures. In highly qualified athletes, the development of chronic fatigue syndrome may precede specific stages common in elite sports: tension, fatigue, overfatigue, overstrain, overtraining, and chronic fatigue from initial to severe degrees [19, 20, 21].

The analysis of the appearance of CFS depending on the athletes' qualification confirmed the conclusions made above. With an increase in sports qualification, the number of athletes with signs of chronic fatigue increases slightly. This conclusion fully applies to the frequency of CFS occurrence (see Figure 5).

Discussion. Chronic fatigue and chronic fatigue syndrome are characterized by a deterioration in health due to overstrain and overtraining and are characterized by symptoms such as: decreased sports performance, depression, sleep disturbances, high susceptibility to upper respiratory tract infections, slight malaise, irritability, fluctuating weight loss, general fatigue, increased heart rate under stress, reduced at rest, heart arrhythmia.

Chronic fatigue and chronic fatigue syndrome in athletes do not develop immediately. They are preceded by the development of various degrees of fatigue. Chronic fatigue syndrome is a chronic fatigue that occurs for no apparent reason and is felt by a person for 30 days or more [22, 23]. There comes a moment when the functional reserves of the body associated with fatigue or

overtraining are exhausted [1]. Complaints typical of chronic fatigue are intensified. These include: rapid fatigue, significant fatigue that does not disappear after a night's rest, increased drowsiness, loss of appetite, sleep disturbances, loss of interest in work, muscle pain, headache, apathy, often depression, impatience, irritability, vague anxiety.

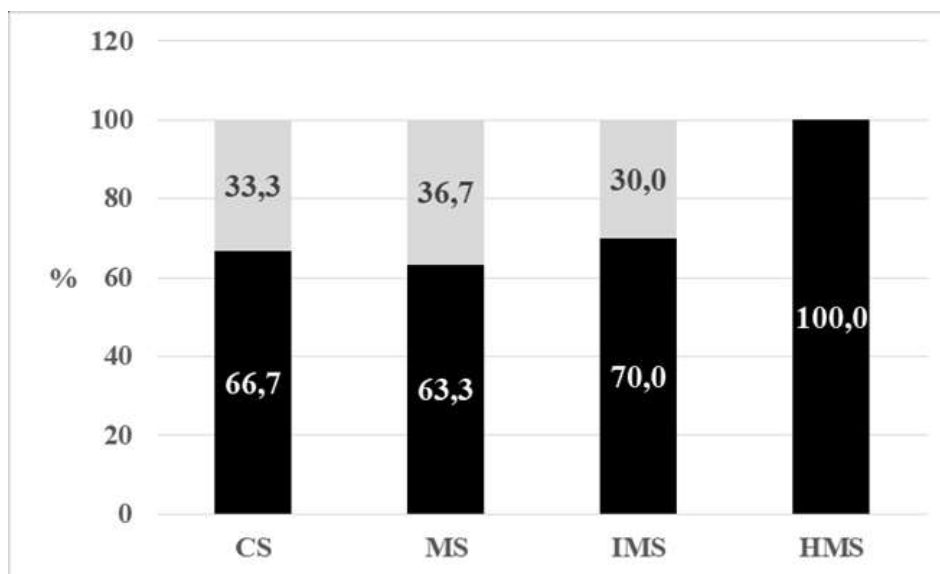


Fig. 5. Frequency of presence in percentage of chronic fatigue syndrome in athletes of different qualifications: CMS, MS, IMS and HMS:



– absence of CFS



– availability of CFS.

In high-level athletes, the development of chronic fatigue syndrome may be preceded by specific stages specific to elite sports: tension, fatigue, overwork, overstrain, overtraining, chronic fatigue. Tension and fatigue are normal functional states associated with physical exertion. Overwork occurs due to an irrational work and rest regime and is a consequence of piling up successive loads without sufficient recovery from previous ones. In individual cases, overwork can be an additional stimulus for mobilizing hidden reserves and developing a delayed training effect [6]. Overstrain occurs with a clear discrepancy between physical loads and the athlete's functional abilities and can manifest itself in pathological changes in various organs and systems. Overtraining is considered a condition caused by overstrain of neurohumoral regulation mechanisms leading to disruption of adaptive processes and the transition of favorable changes in the body to pre-pathological and pathological ones.

Overwork and overtraining are symptoms of neurosis, characterized by the presence of somatic and vegetative disturbances; neurotic reactions that usually occur during monotonous, prolonged, varied, and repeated training sessions (2-3 times a day), leading to constant emotional tension, deterioration of the nervous-psychic and physical state, decreased sports and overall performance. Overwork and overtraining often overlap, resulting in a symptom complex of organism activity disturbances. Overwork disrupts the coordination of interaction between the cerebral cortex, lower parts of the nervous system, and internal organs [12].

This condition is closely related to the development of chronic fatigue and chronic fatigue syndrome in athletes. The state of overtraining is identical to a certain nosological form of illness, the pathophysiological basis of which is not structural but functional disorders of the nervous system [6]. The symptoms of overtraining are very similar to those of chronic fatigue and chronic fatigue syndrome. The boundary between them is very thin.

The formation of chronic fatigue and chronic fatigue syndrome in athletes can also be caused by: irrational use of physical loads (training), which can lead to functional stress on the

musculoskeletal tissues; excessive physical exertion during training in upland and hot and humid climate zones, leading to exacerbation of chronic diseases or overstrain of the cardiorespiratory system; sharp increase in energy expenditure during intensive muscle work, resulting in more intense oxidation of substances in muscle tissue, increased oxygen delivery to skeletal muscles. If there is not enough oxygen for complete oxidation of substances, it occurs partially, and a large amount of underoxidized products, such as lactic and pyruvic acids, urea, and others, accumulates in the body. This leads to deviations in several important constants of the body's internal environment, which prevent it from continuing muscle activity (work). As a result, the development of chronic fatigue and chronic fatigue syndrome in athletes is characterized by the gradual onset of a state of stable or recurrent significant fatigue or rapid fatigue, which does not disappear during the usual recovery period after training loads and even full rest, when fatigue becomes a frequent or constant "companion". As a result, a decrease in the usual level of activity is observed over a long period of time (more than a month).

In athletes with increased chronic fatigue, indicators characterizing their functional, psychophysiological, and physical condition deteriorate. However, chronic fatigue syndrome may not develop in an athlete if they do not have a genetic predisposition and if triggering endogenous and exogenous factors are absent, which, according to various authors, are realized through the nervous system and lead to the appearance of clinical symptoms [24, 25].

Thus, as a result of the analysis of literature and own data, it is assumed that the basis of the formation of chronic fatigue and chronic fatigue syndrome in qualified athletes are violations of the main regulatory systems of the body - nervous, endocrine and immune. Trigger factors for the development of these pre- and pathological conditions can be various endogenous (intense physical and psychological stress, dietary habits, medications, environmental ecology) and exogenous (hormones, tension, stress, inflammatory mediators) influences. Moreover, in athletes, these conditions may be preceded by certain stages specific to elite sports: tension, fatigue, overwork, overstrain, overtraining.

Conclusions.

1. After the analysis, it was found that out of 286 surveyed athletes, 101 (35.3%) showed no signs of current or chronic fatigue, while 169 (59%) exhibited symptoms of chronic fatigue. Among those showing signs of chronic fatigue, 71 (25%) had signs of the initial degree, 29 (10%) showed signs of a pronounced degree, and 17 (6%) exhibited signs of severe chronic fatigue. Additionally, it was observed) that symptoms of chronic fatigue are more common in female athletes, with 49.0% of women compared to 37% of men experiencing them.

2. Analysis of the frequency of chronic fatigue symptoms across different sports disciplines revealed that athletes with signs of chronic fatigue are most commonly swimming (71% of all surveyed swimmers), track and field athletics (62%), and football (54%). Additionally, in football, track and field athletics, wrestling, and cycling, a higher proportion of athletes with a severe degree of chronic fatigue were identified compared to other sports disciplines (16%, 12%, 8%, and 7%, respectively). Conversely, chronic fatigue syndrome was rarely encountered in sports such as freestyle wrestling and rock climbing.

3. It's noticeable that with an increase in sports qualification, there's a slight rise of 3–4% in the number of athletes showing signs of chronic fatigue. However, compared to Candidate Masters of Sports (6%), among Masters of Sports and International Masters of Sports, the number of athletes with a pronounced and severe degree of chronic fatigue increases (16% and 18%, respectively). Conversely, in a very small percentage number of Honored Masters of Sports (2%), signs of a pronounced degree of chronic fatigue were found, while signs of severe fatigue were absent.

4. Out of the athletes displaying signs of chronic fatigue of a expressed and strong degree, there were 46 in total (20 women, 26 men). Upon analysis, it was discovered that symptoms of

chronic fatigue syndrome (CFS) were detected in 30 of them (66.2%), while 3 (6.5%) were diagnosed with fibromyalgia. Among these 30 athletes with CFS symptoms, 13 (43.3%) were female athletes, and 17 (56.7%) were male athletes. Symptoms of fibromyalgia were noted in two (4.3%) male athletes and one (2.2%) female athlete.

Conflict of interest. The authors have no conflicts of interest to declare.

References

1. Platonov V.N. (2004). The training system of athletes in Olympic sport (General theory and its practical application) / V.N. Platonov – K.: Olympiiskaya literatura, 2004. 808 p.
2. Steinacker J. M., Lehman M. (2002). Clinical findings and mechanisms of stress and recovery in athletes. *Enhancing recovery: Preventing underperformance in athletes* / ed. by M. Kellman. – Champaign, IL: Human Kinetics, 2002. 103–118.
3. Gordon N. F. (1999). Chronic fatigue and motor activity / N. F. Gordon. - K.: Olimpiiskaya literatura. 126 p.
4. Ilyin V. M., B. Koval S., Cherkes L. I. (2014). Frequency of manifestations of signs of chronic fatigue in highly qualified athletes in various sports/ *Physical education and sport in the context of the state program for the development of physical culture in Ukraine: experience, problems, prospects: a collection of scientific works.* – Zhytomyr: Department of ZhDU named after I. Franka. 29–32.
5. Lizogub V.S., Makarchuk M.Yu., Yukhymenko L.I., Khomenko S.M, Chernenko-Kuragina N.P. (2017). The wave processes of regulation of the heart rhythm in people with different types of hemodynamics during the head-up-tilt test. *Science and Education a New Dimension.* – Natural and Technical Science.–III(7), Issue: 47. 26-32.
6. Platonov V. (2015)/ *Overtraining in sport.* *Science in Olympic sport.* 1.19–34.
7. Hollander D. B , Meyers M., Un A. Le. (2010). Psychological factors of overtraining: youth sport. *Informational and analytical bulletin.*Minsk. 7.236–253.
8. Fitzgerald M. (2013). *Physiology of overtraining.* *Triathlon science* / ed. by J. Friel, J. Vance. USA: Human Kinetics, 2013. 107–110.
9. Richardson S. O., Andersen M. B., Morris T. (2008) *Overtraining athletes: personal journeys in sport* / S. O. Richardson, - Champaign, Il : Human Kinetics. 2008. 205 p.
10. Pizova N. V. (2012). Fatigue, asthenia and chronic fatigue. What is this? *Consilium Medicum.* 14. (2). 61–64.
11. Javierre C, Alegre J., Ventura J.L., García-Quintana Ana, Segura Ramon, Suarez Andrea Morales, Alberto, Comella A., De Meirleir K. (2007). Physiological Responses to Arm and Leg Exercise in Women Patients with Chronic Fatigue Syndrome. *Journal of Chronic Fatigue Syndrome.* 14, (1).43–53.
12. Ilyin V.N., Filippov M.M., Alvany A. (2015). Chronic fatigue in sport – phenomenon or regularity. *Sports medicine.* 1–2. 3–17
13. Jaffee M.S., Winter W. C., Jones C. C., Ling G. (2015). Sleep disturbances in athletic concussion. *Brain Injury.* 29, (2). 221–227.
14. Simonyan L. V. (2008). Correction of chronic fatigue syndrome with non-traditional methods of rehabilitation. *Olympism and young sports science of Ukraine: materials VI regional. scientific and practical conf., consecration XXIX Summer Olympic Games.* Luhansk.116–121
15. Ilyin V. N., A. R. Alvany (2016). Prevalence and formation of chronic fatigue in qualified athletes. *Pedagogy, psychology and medical and biological problems of physical education and sports.* 3. 11–17. <http://dx.doi.org/10.15561/18189172.2016.0302>
16. Jacob Teitelbaum. (2016). *Forever tired. How to cope with chronic fatigue syndrome.* Publisher: Mann, Ivanov and Ferber.: 2016. 272 p. ISBN: 978-5-00100-296-3
17. Hyde B. M. (1992). *The clinical and scientific basis of myalgic encephalomyelitis/chronic fatigue syndrome.* Nightingale Research Foundation, Ottawa, 1992. 724 p.
18. Stebluk V.V., Burlaka O.V. (2000). Chronic fatigue syndrome – modern state of problems. *Medical rehabilitation, health resort, physiotherapy.* 4. 29–32.
19. Yermakov S. S. (2007). An integral component of monitoring scientific research in physical education and sports. *Pedagogy, psychology and medical biology. problems of physical education and sports: coll. of science works edited by S. S. Yermakova.* X. 8. 43–49.

20. Pavlik A.I., V.A. Dryukov The structure of reactions of aerobic performance of qualified athletes under conditions of intense muscular activity as a basis for its analysis and evaluation. Actual problems of physical culture and sport. 8–9. 52–67.
21. Schmidt H. [et al.] (2005). Autonomic dysfunction predicts mortality in patients with multiple organ dysfunction syndrome of different age groups. Crit Care Med. 33(9). 1994 – 2002
22. Javierre C., Alegre J., Ventura J. L. [et al.]. (2007). Physiological Responses to Arm and Leg Exercise in Women Patients with Chronic Fatigue Syndrome. Journal of Chronic Fatigue Syndrome. 2007. 14, (1). 43–53.
23. KMacLean G., Wessely S. (1994). Professional and popular views of chronic fatigue syndrome. Br. Med. J. 1994. 308. 776–785.
24. Bell D. S. (1994). Chronic fatigue syndrome update. Findings now point to CNS involvement. Postgrad. Med., 1992. 96, (6). 73–76.
25. White P. D. (2004). Infections, physical inactivity, and enhanced interception may all play a part Br. Med. J. 329. 928–929.

Одержано редакцією: 26.03.2024
Прийнято до публікації: 24.04.2024

UDC 796:004.38+613.21+641.555

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-18-28

Yevheniy Viktorovich Imas

National University of Ukraine on Physical Education and Sport
rectorat@uni-sport.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0641-678X>

Halyna Volodymyrivna Lukyantseva

National University of Ukraine on Physical Education and Sport
lukjantseva@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8054-0108>

Viktoriia Anatolyivna Pastukhova

National University of Ukraine on Physical Education and Sport
Pastuhova_V@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4091-913X>

Yaroslav Romanovych Svirin

National University of Ukraine on Physical Education and Sport
yaroslavsvirin@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6920-0120>

Andrii Mykolayovich Skorobogatov

National University of Ukraine on Physical Education and Sport
san_7373@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4368-0451>

Volodymyr Volodymyrovich Sosnovski

National University of Ukraine on Physical Education and Sport
sosna8011980@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0838-8893>

Viktoriia Leonidivna Zavalniuk

National University of Ukraine on Physical Education and Sport
vik2801@i.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1364-1168>

ESPORTS AS ONE OF THE DRIVING FACTORS OF THE INFORMATION EVOLUTION OF HUMANITY

The article presents a brief review of the scientific literature on the role of eSports in the processes of informatization of society and the digital evolution of man as a species. The rapid development of new communication technologies is changing the lives of ordinary people in a specific digital environment. This prompts people to process an ever-increasing amount of information in a short amount of time and transform their mental strategies. The computerization of everyday life has led to the combination of virtual reality technologies with the principles of classical sports. The result of this synthesis was the emergence of eSports. Virtual reality provides unlimited possibilities for designing game activities and the structure of gamer characteristics. A wide selection of game parameters expands the mental topology of gamers of an eSports player. E-sports complements the information structure of the gamer's personality. Being in the electronic world leaves an imprint on a person's consciousness, behavior, outlook and culture. E-sports as an example of global digitalization is one of the driving factors of the information evolution of society.

Keywords: eSports, digital evolution, informatization of society.

Formulation of the problem. Analysis of recent research and publications. The problem of human evolution is one of the most relevant directions of modern biological study that delineates patterns of development of the Homo Sapiens, the purpose behind his morphology, his adaptational mechanisms, the patterns of the historical development of the species, etc [1, 2, 3]. However, Homo sapiens as a species is a unique creature, since it combines the essence of a biological organism with

the characteristics of a social personality acquired over the course of its existence and nurture within its socio-cultural environment [4, 5]. Accordingly, the modern study of anthropogenesis is inextricably linked with the deep aspects of societal development, thus representing a single process – anthroposociogenesis [6, 7].

The urgent questions of anthropogenesis (such as the emergence and development of characteristic features of humans as a species) have, until recently, focused primarily on the features of phylogenetic transformations of the species. These used to be the main subject of the modern evolutionary biology scientific study [8, 9]. Lately though, as a result of appearance and constant expansion of significant volumes of information as well as the need to adapt to the ever-changing conditions of the informational space, the issue of human historical development became the main subject of the active scientific research within the sociologic, cultural, and philosophical disciplines. At this stage of society's development, people and their socio-cultural communities are powerful generators of information that they use to solve complex tasks of everyday life [10, 11]. The amazing development of information and communication tools, the computerization of all spheres of human activity, the emergence of new intellectual technologies inevitably transform human consciousness [12, 13]. The gradual growth of digitalization of society is one of the factors of the informational evolution of humanity and the genesis of a new human formation.

The purpose of the study was to analyze modern literature regarding the role of e-sports in the processes of informatization of society and the digital evolution of humans as a species.

Research materials and methods. The analysis of modern literature was carried out by processing scientific sources that are presented in the scientometric databases of PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library and others over the last 5 years. We used the search terms "eSports", "digital evolution of humanity", "Homo informaticus". By keywords, 543 works were found, from which 58 works were selected for literary analysis. The selection of primary sources was carried out as follows: first, the topic of the article was analyzed; if the topic corresponded to the direction of our research, the abstract was analyzed. If the abstract corresponded to the direction of our research, then the text of the article was subjected to analysis. Studies that corresponded to the purpose of our work were collected and critically analyzed.

Research results and their discussion. Human evolution is an irreversible and unidirectional historical development which, since the times of the first, now extinct, humanoid apes (australopithecines), has been accompanied by the continuous process of natural and artificial selection, the changes within the genetic composition of populations, and the formation of specific adaptive properties [14, 15]. The process of anthropogenesis as formation modern physical type of a person under the influence of a complex of biological and primordial social factors led through some intermediate links before the appearance of the species *Homo sapiens* [16, 17]. Representatives of this species are distinguished from other taxa of hominids and humanoid primates by the formation of a discrete socio-cultural unit – the human personality, which has become radically different from their own ancestors and acquired a modern appearance [18, 19].

The result of the extremely complex process of anthropogenesis was the acquisition by man of specific features of anatomical and physiological organization characteristic only of his species (strong development of the cortex of the hemispheres of the cerebrum, a significant reduction of the olfactory lobes of the brain, opposition of the thumb, etc.), as well as cognitive abilities and language [20]. Modern human brain differs from that of humanoid apes in size, shape and the cortex organization, especially the areas of the frontal cortex responsible for complex cognitive tasks, such as social identification, use of tools, and language [21]. Accordingly, the formation and complexity of modern human's cognitive features, such as cognition, imagination, memory, goal setting, abstract thinking, etc., are determined by evolutionary changes within the brain of human ancestors. This complexity is the result of the gradual improvement of the analytical-synthetic activity of the cortex/ cerebral hemispheres [22]. The process of human historico-evolutionary development was originally distinguished by exclusively organic nature of its implementation; on top of which, as a

result of societal development, the artificially created evolutionary factors were layered. Thus, gradually, the purely biological driving factors of human evolutionary transformation (survival, natural selection, hereditary variability) as means of the forced necessity for adaptation to changing living conditions and threats, began to be supplemented and replaced by socio-cultural factors (communal lifestyle, specialization, mentality, unique language features, production of tools, the use of fire for cooking, etc.) [23, 24, 25].

The key moment in the evolutionary development of humans as a species was the socio-cultural evolution, which was accompanied by the creation, development, and accumulation of a body of knowledge, skills, traditions, and abilities. The gradual transmission of cultural experience from generation to generation through education contributed to greater socialization of humans and the formation of their most significant difference from animals, which lies in the realm of human intellect, not the body, and is related to the ability to think, express one's own thoughts, and understand a conversation partner [26, 27, 28]. Thanks to the highly developed brain, humans as a species have acquired a high level of consciousness, and as a result, an excess of energy that allows humanity to transform natural energies, the environment, and to some extent influence the natural driving forces of evolution (restrict or alter the processes of natural selection within their own species as well as among representatives of other biological taxa) [3, 29].

Summarizing all of the above, it can be argued that modern humans, as a result of the development of biological matter, are the most complex variety of it, regardless of the level of organization of living matter being considered. This assertion holds true for *Homo sapiens* at the microsystem level (the complexity of molecular-genetic and cellular structure), the mesosystem level (perfection of tissue, organ, and organism structure), as well as the macrosystem level (complexity of population-species and socio-cultural relationships) [22, 30].

In the end, the specific characteristics of humans as discrete, separate biosocial units, as well as of human society as a whole, have provided humanity with the ability to globally transform the cycle of matter, energy, and information, thereby changing not only the biogeocenotic (ecosystemic) but also the biospheric level of organization of living matter. Thus, humans, as an integral part of nature, are the only unique living beings whose existence is influenced by general biological mechanisms of life regulation and who manage to, at the same time, actively and sometimes aggressively impact nature, shaping complex mutual feedback relationships.

However, most contemporary anthropologists believe that the evolution of *Homo sapiens* as a biological species is not yet complete. It's worth noting that, in recent times, the dominant role in this process has been played not so much by biological processes of selection and physical evolution but by the directions of human adaptation to society through the development of cultural tools, which shape the fundamental principles of artificial selection [31, 32]. Thus, the primary directions of further historical development of *Homo sapiens* lie in the socio-cultural realm and are exclusively facilitated by artificial means.

A review of social and philosophical sources on the construction of society and human existence within it allows us to conclude that reflection on the concept of "human and the paths of its evolution" has led to the emergence of new revolutionary constructs and concepts. Among them, we should mention the philosophical model of "*Homo religiosus*" (The Religious Man), built on the principle that religion is more than just an ethical code but rather a way of life and self-identification [33]. We cannot overlook the construct "*Homo intelligens*" (The Thinking Man) as the embodiment of the human of the future, who will take on the role of the "creator and bearer of information and knowledge," and through his existence bring about revolutionary transformations in the fields of information and technology [34]. Certainly, the essence, means, and content of human historical development as an individual member of society have always been the subject of philosophical discussions. However, the realities of modern life significantly differ from those of, for example, just 20 years ago due to the revolutionary development and deep penetration of various information technologies into human life. The comprehensive combination of processes of creating

and improving means and technologies of information influence, as well as the informatization and cybernetization of an increasing number of spheres of life, have shaped a specific highly reactive and dynamic socio-cultural environment [35, 36].

Today, humans live and develop in a society where information has become one of the main resources, a unique value on which a person's life depends in both direct and indirect senses. The rapid advancement of new information and communication technologies and their integration into everyday life radically transform the realities of modern existence, creating a powerful and dense information environment that forces individuals to process a growing amount of information in shorter periods of time and adapt their cognitive strategies accordingly [37]. The constant pressure of the information flow compels individuals to adapt to new realities, leading to the emergence of alternative forms of intellectual and sporting activities, as well as the creation of new means of communication within the human population. The powerful computerization of everyday life, combined with the fusion of virtual reality with the excitement and sanctity of traditional sports, through the hybridization of the physical and virtual worlds, has given rise to a revolutionary phenomenon known today as e-sports or electronic sports. Thanks to digital technologies, various aspects of the sporting experience have found entirely new expression in the almost limitless possibilities of e-sports. E-sports, over the course of its development, has become a unique social phenomenon and is now an integral component of physical culture and sports [38, 39], despite numerous heated debates about whether it can be considered a true traditional sport.

Just like in traditional, classic sports, electronic sports (e-sports) involve competition, excitement, and passion. At the same time, it requires e-athletes to maximize their physical and psycho-emotional resources to achieve a higher level of performance and sporting excellence. Similar to traditional sports, the specific tools of e-sports are methods of physical training that are based on competitive activities and preparation for them, during which the athlete's potential is assessed and evaluated. Achieving a high level of mastery in e-sports, as well as in traditional competitive sports, is unattainable without the ability to think strategically, work as part of a team, make quick decisions in stressful situations, and consider potential opponent analysis [40, 41]. All these qualities, skills, and abilities are another parallel between e-sports and classic forms of physical competitive activities, without which victory in sports is impossible.

The ever-increasing popularity of virtual games each year demands persistent improvement of both physical and intellectual professional skills from e-sports athletes. Every successful e-sports athlete dedicates at least 5-7 hours a day to training, while newcomers striving for a high professional level invest even more of their time [42, 43]. Given the strong and growing competition, e-athletes need to enhance not only their fine motor somatic skills and psycho-physiological characteristics (reaction speed, etc.) but also certain social skills (non-conflict behavior, stress resistance, etc.). Virtual reality offers limitless possibilities for constructing both gaming activities and the structure of an individual's personality due to the ambiguity, variability, and simulation of the online space. Accordingly, the arbitrary selection of any set of game parameters expands the mental topology of an individual. In virtual reality, a person represents themselves as a specific character, and virtual culture becomes a common socio-cultural practice of the subject, giving rise to a multitude of socio-cultural worlds and models of subjectivity [37, 44]. This leads to a unique modification and transformation of human consciousness, altering psychological qualities of the individual.

An objective analysis of various aspects of the impact of e-sports on the structure and functions of human society does not allow us to overlook the positive consequences of the development of this form of sporting activity. Competitions in the virtual world are among the safest and least traumatic forms of sports. As a result of regular training in e-sports athletes, the aging of cognitive abilities slows down, self-discipline and self-control are improved, visual and auditory memory is developed, fine motor skills of the fingers are refined, and more [44, 45]. From the perspective of the specificity of psychophysiological characteristics, regular involvement in e-

sports contributes to the development of logical thinking, deductive abilities, analytical, as well as critical, abstract, figurative, and unconventional thinking. Systematic training enhances the e-athletes' ability to predict outcomes, improves attention span, hones teamwork skills, and other social qualities, including mutual understanding, communicativeness, tolerance for others' mistakes, solving common tasks and problems, delegation of responsibilities, and more [46, 47]. As a result, both individual and group activities of e-athletes are improved in various social variations, leading to a better manifestation of acquired social qualities, which are the quintessence of purely human experience.

It is worth noting that e-sports competitions, organized on humanistic principles of fair play, foster a healthy competitive environment within the sports community with its moral, ethical, and moral norms, providing grounds for identifying talented and successful individuals. This can be considered one of the means of artificial selection, which is one of the tools in the socio-cultural evolution of modern humanity. Thus, the progressive development of cyber technologies and competitive sports serve as important components of the successful adaptation of e-athletes to the changing conditions of the social and informational environment [48, 49]. An important fact is that the social status of e-athletes and substantial financial rewards for their performances allow them to achieve a high level of financial freedom, which is also a significant motivating factor for systematic self-improvement [50, 51].

The significant practical value of e-sports should not be underestimated. The specific personality traits formed based on it (cognitive flexibility, computer literacy, high thinking speed, collaborative interaction in augmented reality, etc.) are becoming necessary and highly demanded in many other fields of human activity, ranging from economics and business (system administrators, analysts, etc.) to state security and defense (drone operators, developers of military technology software, doctors etc.) [52, 53, 54]. Thus, the development and proliferation of e-sports in society define and contribute to the development of specific skills and qualities in individuals engaged in high-tech processes and the management of highly complex systems.

Despite certain negative consequences of the spread of e-sports in contemporary society, it has firmly established its niche in the realm of complex information space in the modern world. As this sport becomes increasingly important due to the advancement of digital technologies and the sophistication of user culture, it gradually evolves and transforms the core values and cultural experiences of society as a whole.

The convergence of powerful information influence in the virtual environment with intense sports competition in the context of esports inevitably affects the biological essence of humanity, while simultaneously transforming the intellectual, emotional, and spiritual components of one's personality [55, 56]. The socio-cultural, philosophical, and economic aspects embodied in esports, in convergence with cutting-edge information technologies, demonstrate rapid development, signs of high reactivity, and flexible adaptability to society's needs, thus being considered one of the driving factors of anthroposociogenesis. Therefore, it's not surprising that the scientific and applied interest of the human community in the philosophical, social, and socio-cultural aspects of informatization in general, and esports in particular, has undeniably grown in recent years.

The rapid transformation of the information environment is largely determined by the increasing pace of technological changes and the acceleration of social dynamics. All of the above inevitably affects the evolution of humanity as a species and contributes to the emergence of a new theoretical construct - Homo informaticus (Informational Human) [57, 58]. The definition of "Homo informaticus" as a characteristic of a new type of personality is currently characteristic primarily of humanitarian disciplines. In contemporary biology, this categorical unit has not yet found its theoretical and practical niche, just as the concept of "informational anthropology" has not yet gained a corresponding status and fixed content. However, the existence of these philosophical concepts is already emerging, evolving, and acquiring new meanings through increasingly

widespread combinations of modern technologies, the volume and quality of information, and the driving forces of societal evolution.

Throughout most of the period of anthroposociogenesis, humans as a species gradually approached the transition to the level of *Homo informaticus* due to the emergence of social and spiritual needs for information. The imperative and driving factor for this transition was humanity itself. Additionally, the utilization of new knowledge and information to achieve desired results is an integral condition for ensuring labor and adaptation to life in society. It's important to remember that humans themselves are powerful generators of information and essentially represent a unique repository of biological, physical, and socio-cultural data. All of these elements form the basis of the specificity of "*Homo informaticus*," which, at this evolutionary stage of human development, serves as a theoretical heuristic model.

However, despite the purely predictive nature of the "*Homo informaticus*" model, the information-transformed type of human could indeed become a new anthropological unit. The "*Homo informaticus*" model is designed primarily to explain the specifics of human informational existence in modern high-tech society. Naturally, the transformation of *Homo sapiens* into Informational Humans already leads to and will continue to lead to both positive and negative consequences of advancing digitization. However, a detailed examination of these research tasks is not the focus of our article at this time.

Conclusion. Cybersport is an integral part of the digital environment and complements the information structure of a person's personality. Being in the electronic world leaves an imprint on the consciousness, behavior, outlook and culture of human society. In modern conditions, adaptation to the virtual space and the formation of a suitable lifestyle are already realities for cyber sportsmen. Basic biological instincts and acquired socio-cultural skills force humanity to lead an informational lifestyle. All of the above will contribute to the realization of the informational evolution of *Homo sapiens* in the future.

Список використаної літератури

1. Bolnick DI, Barrett RDH, Oke KB, Rennison DJ, Stuart YE. (Non)parallel evolution. *Annu Rev Ecol Evol Syst.* 2018;49(1):303-330.
2. Balentine CM, Bolnick DA. Parallel evolution in human populations: A biocultural perspective. *Evol Anthropol.* 2022 Dec;31(6):302-316. doi: 10.1002/evan.21956.
3. Witt KE, Huerta-Sánchez E. Convergent evolution in human and domesticated adaptation to high-altitude environments. *Philos Trans R Soc B Biol Sci.* 2019;374(1777):20180235.
4. Franco FM. Ecocultural or Biocultural? Towards Appropriate Terminologies in Biocultural Diversity. *Biology (Basel).* 2022 Jan 28;11(2):207. doi: 10.3390/biology11020207.
5. Scott-Phillips T. Biological adaptations for cultural transmission? *Biol Lett.* 2022 Nov;18(11):20220439.
6. Waring TM, Wood ZT. Long-term gene-culture coevolution and the human evolutionary transition. *Proc Biol Sci.* 2021 Jun 9;288(1952):20210538. doi: 10.1098/rspb.2021.0538.
7. Igamberdiev AU, Brenner JE. The evolutionary dynamics of social systems via reflexive transformation of external reality. *Biosystems.* 2020 Nov;197:104219.
8. Meneganzin A, Pievani T, Manzi G. Pan-Africanism vs. single-origin of *Homo sapiens*: Putting the debate in the light of evolutionary biology. *Evol Anthropol.* 2022 Jul;31(4):199-212.
9. Axelrod CJ, Gordon SP, Carlson BA. Integrating neuroplasticity and evolution. *Curr Biol.* 2023 Apr 24;33(8):R288-R293. doi: 10.1016/j.cub.2023.03.002.
10. Hofkirchner W. A paradigm shift for the Great Bifurcation. *Biosystems.* 2020 Nov;197:104193. doi: 10.1016/j.biosystems.2020.104193.
11. Corning PA. A systems theory of biological evolution. *Biosystems.* 2022 Apr;214:104630. doi: 10.1016/j.biosystems.2022.104630.
12. Georgiev DD. Evolution of Consciousness. *Life (Basel).* 2023 Dec 27;14(1):48.
13. Stewart JE. The evolution and development of consciousness: the subject-object emergence hypothesis. *Biosystems.* 2022 Jul;217:104687. doi: 10.1016/j.biosystems.2022.104687.
14. Harvati K, Reyes-Centeno H. Evolution of *Homo* in the Middle and Late Pleistocene. *J Hum Evol.* 2022 Dec;173:103279. doi: 10.1016/j.jhevol.2022.103279.

15. Zollikofer CPE, Bienvenu T, Beyene Y, Suwa G, Asfaw B, White TD, Ponce de León MS. Endocranial ontogeny and evolution in early Homo sapiens: The evidence from Herto, Ethiopia. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2022 Aug 9;119(32):e2123553119. doi: 10.1073/pnas.2123553119.
16. Henry JP. Genetics and origin of Homo sapiens. *Med Sci (Paris)*. 2019 Jan;35(1):39-45. doi: 10.1051/medsci/2018311.
17. Wood B. Birth of Homo erectus. *Evol Anthropol*. 2020 Nov;29(6):293-298.
18. Pine DS, Wise SP, Murray EA. Evolution, Emotion, and Episodic Engagement. *Am J Psychiatry*. 2021 Aug 1;178(8):701-714. doi: 10.1176/appi.ajp.2020.20081187.
19. Stoltz J. Layered habitats: An evolutionary model for present-day recreational needs. *Front Psychol*. 2022 Nov 30;13:914294. doi: 10.3389/fpsyg.2022.914294.
20. Uomini N, Fairlie J, Gray RD, Griesser M. Extended parenting and the evolution of cognition. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2020 Jul 20;375(1803):20190495.
21. Ponce de León MS, Bienvenu T, Marom A, Engel S, Tafforeau P, Alatorre Warren JL, Lordkipanidze D. The primitive brain of early Homo. *Science*. 2021 Apr 9;372(6538):165-171.
22. De Schotten MT, Zilles K. Evolution of the mind and the brain. *Cortex*. 2019;118:1-3.
23. James WPT, Johnson RJ, Speakman JR, Wallace DC, G Frühbeck G, Iversen PO, Stover PJ. Nutrition and its role in human evolution. *J Intern Med*. 2019 May;285(5):533-549.
24. Kumagai A, Obata Y, Yabuki Y, Jiang Y, Yokoi H, Togo S. Asymmetric shape of distal phalanx of human finger improves precision grasping. *Sci Rep*. 2021 May 17;11(1):10402.
25. Vaill M, Kawanishi K, Varki N, Gagneux P, Varki A. Comparative physiological anthropogeny: exploring molecular underpinnings of distinctly human phenotypes. *Physiol Rev*. 2023 Jul 1;103(3):2171-2229. doi: 10.1152/physrev.00040.2021.
26. Beller S, Bender A, Jordan F. Editors' Review and Introduction: The Cultural Evolution of Cognition. *Top Cogn Sci*. 2020 Apr;12(2):644-653. doi: 10.1111/tops.12498.
27. Nettle D. State-dependent cognition and its relevance to cultural evolution. *Behav Processes*. 2019 Apr;161:101-107. doi: 10.1016/j.beproc.2018.01.018.
28. Barrett HC. Towards a Cognitive Science of the Human: Cross-Cultural Approaches and Their Urgency. *Trends Cogn Sci*. 2020 Aug;24(8):620-638. doi: 10.1016/j.tics.2020.05.007.
29. Rees JS, Castellano S, Andrés AM. The Genomics of Human Local Adaptation. *Trends Genet*. 2020 Jun;36(6):415-428. doi: 10.1016/j.tig.2020.03.006.
30. Verga L, Kotz SA, Ravnani A. The evolution of social timing. *Phys Life Rev*. 2023 Sep;46:131-151. doi: 10.1016/j.pprev.2023.06.006.
31. Smolla M, Jansson F, Lehmann L, Houkes W, Weissing FJ, Hammerstein P, Dall SR et al. Underappreciated features of cultural evolution. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2021 Jul 5;376(1828):20200259. doi: 10.1098/rstb.2020.0259.
32. Boon E, van den Berg P, Molleman L, Weissing FJ. Foundations of cultural evolution. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2021 Jul 5;376(1828):20200041. doi: 10.1098/rstb.2020.0041.
33. Stempsey WE. Homo religiosus: The Soul of Bioethics. *J Med Philos*. 2021 Apr 2;46(2):238-253. doi: 10.1093/jmp/jhaa039
34. Y. Masuda. Hypothesis on the genesis of Homo intelligens. *Futures*. 1985. Vol. 17. № 5. P. 479—494.
35. Al-Zahrani A. Toward digital citizenship: examining factors affecting participation and involvement in the internet society among higher education students. *Int. Educ. Stud*. 2015;8:203.
36. Cockerham WC. Health Lifestyle Theory in a Changing Society: The Rise of Infectious Diseases and Digitalization. *J Health Soc Behav*. 2023 Sep;64(3):437-451.
37. Грищенко НВ, Суська ОО. Сучасні підходи до еволюції комунікаційних процесів в контексті трансформації медіасистем. *European Political and Law Discourse*. 2017;4(2):195-200.
38. Імас Є. Кіберспорт як соціально-спортивне явище в умовах сучасного розвитку інформаційного суспільства. Теорія і методика фізичного виховання і спорту. 2020; 4: 13–17. DOI: 10.32652/tmfvs.2020.4.13–17.
39. Pezdek K, Bronikowski M, Wawrzyniak S, Ludwiczak M, Węgrzyn M, Bronikowska M. Is e-sport a fully-fledged sport? Moral, educational and social dilemmas of e-sport. *J Sports Med Phys Fitness*. 2023 Jul;63(7):864-872. doi: 10.23736/S0022-4707.23.14824-9.
40. Scorza FA, Fiorini AC, de Lima CC, Camilo N, Magro EP, Guimaraes L, Pavanelli C et al. Medical research: Are e-Sports really sports? *Clinics (Sao Paulo)*. 2023 Apr 1;78:100190. doi: 10.1016/j.clinsp.2023.100190.

41. Fiore R, Zampaglione D, Murazzi E, Bucchieri F, Cappello F, Fucarino A. The eSports conundrum: is the sports sciences community ready to face them? A perspective. *J Sports Med Phys Fitness*. 2020 Dec;60(12):1591-1602. doi: 10.23736/S0022-4707.20.10892-2.
42. Emara AK, Nag MK, Cruickshank JA, Kampert MW, Piuze NS, Schaffer JL, Dominic King D. Gamer's Health Guide: Optimizing Performance, Recognizing Hazards, and Promoting Wellness in Esports. *Curr Sports Med Rep*. 2020 Dec;19(12):537-545. doi: 10.1249/JSR.0000000000000787.
43. Tang D, Sum R, Li M, Ma R, Chung P, Ho R. What is esports? A systematic scoping review and concept analysis of esports. *Heliyon*. 2023 Dec 3;9(12):e23248. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e23248.
44. Di Francisco-Donoghue J, Balentine J, Schmidt G, Zwibel H. Managing the health of the eSport athlete: an integrated health management model. *BMJ Open Sport Exerc. Med*. 2019; 5:e000467.
45. Law A, Ho G, Moore M. Care of the Esports Athlete. *Curr Sports Med Rep*. 2023 Jun 1;22(6):224-229. doi: 10.1249/JSR.0000000000001077.
46. Behnke M, Stefanczyk MM, Zurek G, Sorokowski P. Esports Players Are Less Extroverted and Conscientious than Athletes. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*. 2023 Jan;26(1):50-56. doi: 10.1089/cyber.2022.0067.
47. Campbell MJ, Toth AJ, Moran AP, Kowal M, Exton C. eSports: A new window on neurocognitive expertise? *Prog Brain Res*. 2018;240:161-174. doi: 10.1016/bs.pbr.2018.09.006.
48. Nagorsky E, Wiemeyer J. The structure of performance and training in esports. *PLoS One*. 2020 Aug 25;15(8):e0237584. doi: 10.1371/journal.pone.0237584.
49. Reitman J.G., et al. Esports research: a literature review. *Game. Cult*. 2019;15(1):32–50. doi: 10.1177/1555412019840892.
50. Behnke M, Gross JJ, Kaczmarek LD. The role of emotions in esports performance. *Emotion*. 2022 Aug;22(5):1059-1070. doi: 10.1037/emo0000903.
51. Giakoni-Ramírez F, Merellano-Navarro E, Duclos-Bastías D. Professional Esports Players: Motivation and Physical Activity Levels. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Feb 16;19(4):2256.
52. Chiu W. et al. Knowledge mapping and sustainable development of esports research: a bibliometric and visualized analysis. *Sustainability*. 2021;13(18) doi: 10.3390/su131810354.
53. Jeong D, Youk S. Refining esports: a quantitative cartography of esports literature. *Entertainment Computing*. 2023;47 doi: 10.1016/j.entcom.2023.100597.
54. Abdelmegeed M, Elkhawaga H. The use of the computer assisted rehabilitation environment in assessment and rehabilitation. *Health, Sport, Rehabilitation*. 2023;9(2):118-131. <https://doi.org/10.34142/HSR.2023.09.02.09>.
55. Pluss MA, Bennett KJ, Novak AR, Panchuk D, Coutts AJ, Fransen J. Esports: The Chess of the 21st Century. *Front Psychol*. 2019 Jan 30;10:156. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00156.
56. Brevers D, King DL, Billieux J. Delineating adaptive esports involvement from maladaptive gaming: a self-regulation perspective. *Curr Opin Psychol*. 2020 Dec;36:141-146. doi: 10.1016/j.copsyc.2020.07.025.
57. Пересунько ЗМ. Інновації як чинник еволюційних змін цивілізації. *Інноваційна економіка*. 2013;8: 63-72.
58. De brabantere I. Homo informaticus. *Philosophy now*. 2021;141:26-30.

References

1. Bolnick D. I., Barrett R. D. H., Oke K. B., Rennison D. J., Stuart Y. E. (2018) (Non)parallel evolution. *Annu Rev Ecol Evol Syst*. Vol. 49, № 1. P. 303-330. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062240>.
2. Balentine C. M., Bolnick D. A. (2022) Parallel evolution in human populations: A biocultural perspective. *Evol Anthropol*. Vol. 31, № 6. P. 302-316. doi: 10.1002/evan.21956.
3. Witt K. E., Huerta-Sánchez E. (2019) Convergent evolution in human and domesticated adaptation to environments. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. Vol. 374, № 1777. 20180235.
4. Franco F. M. (2022) Ecocultural or Biocultural? Towards Appropriate Terminologies in Biocultural Diversity. *Biology (Basel)*. Vol. 11, № 2. 207. doi: 10.3390/biology11020207.
5. Scott-Phillips T. (2022). Biological adaptations for cultural transmission? *Biol Lett*. Vol. 18, № 11. 20220439. doi: 10.1098/rsbl.2022.0439.
6. Waring T. M., Wood Z. T. (2021) Long-term gene-culture coevolution and the human evolutionary transition. *Proc Biol Sci*. Vol. 288, № 19. 20210538. doi: 10.1098/rspb.2021.0538.
7. Igamberdiev A. U., Brenner J. E. (2020) The evolutionary dynamics of social systems via reflexive transformation of external reality. *Biosystems*. № 197. 104219.

8. Meneganzin A., Pievani T., Manzi G. (2022) Pan-Africanism vs. single-origin of Homo sapiens: Putting the debate in the light of evolutionary biology. *Evol Anthropol.* Vol. 31, № 4. P. 199-212. doi: 10.1002/evan.21955.
9. Axelrod C. J., Gordon S. P., Carlson B. A. (2023) Integrating neuroplasticity and evolution. *Curr Biol.* Vol. 33, № 8. R288-R293. doi: 10.1016/j.cub.2023.03.002.
10. Hofkirchner W. A (2020) paradigm shift for the Great Bifurcation. *Biosystems.* № 197. 104193. doi: 10.1016/j.biosystems.2020.104193.
11. Corning P. A. (2022) A systems theory of biological evolution. *Biosystems.* № 214. 104630. doi: 10.1016/j.biosystems.2022.104630.
12. Georgiev D. D. (2023) Evolution of Consciousness. *Life (Basel).* Vol. 14, № 1. P. 48. doi: 10.3390/life14010048.
13. Stewart J. E. (2022) The evolution and development of consciousness: the subject-object emergence hypothesis. *Biosystems.* № 217. 104687.
14. Harvati K., Reyes-Centeno H. (2022) Evolution of Homo in the Middle and Late Pleistocene. *J Hum Evol.* № 173. 103279. doi: 10.1016/j.jhevol.2022.103279.
15. Zollikofer C. P. E., Bienvenu T., Beyene Y., Suwa G., Asfaw B., White T. D., Ponce de León M. S. (2022) Endocranial ontogeny and evolution in early Homo sapiens: The evidence from Herto, Ethiopia. *Proc Natl Acad Sci USA.* Vol. 119, № 32. e2123553119.
16. Henry JP. (2019) Genetics and origin of Homo sapiens. *Med Sci (Paris).* №1. P. 39-45.
17. Wood B. Birth of Homo erectus. *Evol Anthropol.* 2020 Nov;29(6):293-298.
18. Pine D. S., Wise S. P., Murray E. A. (2021) Evolution, Emotion, and Episodic Engagement. *Am J Psychiatry.* Vol. 178, № 8. P. 701-714. doi: 10.1176/appi.ajp.2020.20081187.
19. Stoltz J. (2022) Layered habitats: An evolutionary model for present-day recreational needs. *Front Psychol.* №13. 914294. doi: 10.3389/fpsyg.2022.914294.
20. Uomini N., Fairlie J., Gray R. D., Griesser M. (2020) Extended parenting and the evolution of cognition. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* Vol. 375, № 1803. 20190495.
21. Ponce de León M. S., Bienvenu T., Marom A., Engel S., Tafforeau P., Alatorre Warren J.L., Lordkipanidze D. et al. (2021) The primitive brain of early Homo. *Science.* Vol. 9, № 372 (6538). P. 165-171. doi: 10.1126/science.aaz0032.
22. De Schotten M. T., Zilles K. (2019) Evolution of the mind. *Cortex.* № 118. P. 1-3.
23. James W. P. T., Johnson R. J., Speakman J. R., Wallace D. C., Frühbeck G., Iversen P. O. (2019) Nutrition and its role in human evolution. *J Intern Med.* Vol. 285, № 5. P. 533-549.
24. Kumagai A., Obata Y., Yabuki Y., Jiang Y., Yokoi H., Togo S. (2021) Asymmetric shape of distal phalanx of human finger improves precision grasping. *Sci Rep.* Vol. 11, № 1. 10402.
25. Vaill M., Kawanishi K., Varki N., Gagneux P., Varki A. (2023) Comparative physiological anthropogeny: exploring molecular underpinnings of distinctly human phenotypes. *Physiol Rev.* Vol. 103, № 3. P. 2171-2229. doi: 10.1152/physrev.00040.2021.
26. Beller S., Bender A., Jordan F. (2020) Editors' Review and Introduction: The Cultural Evolution of Cognition. *Top Cogn Sci.* Vol. 12, № 2. P. 644-653. doi: 10.1111/tops.12498.
27. Nettle D. (2019) State-dependent cognition and its relevance to cultural evolution. *Behav Processes.* № 161. P. 101-107. doi: 10.1016/j.beproc.2018.01.018.
28. Barrett H. C. (2020) Towards a Cognitive Science of the Human: Cross-Cultural Approaches and Their Urgency. *Trends Cogn Sci.* Vol. 24, № 8. P. 620 - 638.
29. Rees J. S., Castellano S., Andrés A.M. (2020) The Genomics of Human Local Adaptation. *Trends Genet.* Vol. 36, № 6. P. 415-428. doi: 10.1016/j.tig.2020.03.006.
30. Verga L., Kotz S. A., Ravnani A. (2023) The evolution of social timing. *Phys Life Rev.* № 46. P. 131-151. doi: 10.1016/j.plrev.2023.06.006.
31. Smolla M., Jansson F., Lehmann L., Houkes W., Weissing F. J., Hammerstein P., Dall S. R. et al. (2021) Underappreciated features of cultural evolution. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* Vol. 376, № 1828. 20200259. doi: 10.1098/rstb.2020.0259.
32. Boon E., van den Berg P., Molleman L., Weissing F. J. (2021) Foundations of cultural evolution. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* Vol. 376, № 1828. 20200041.
33. Stempsey W. E. (2021) Homo religiosus: The Soul of Bioethics. *J Med Philos.* Vol. 2, № 46(2). P. 238-253.
34. Masuda Y. (1985) Hypothesis on the genesis of Homo intelligens. *Futures.* Vol. 17. № 5. P. 479—494.
35. Al-Zahrani A. (2015) Toward digital citizenship: examining factors affecting participation and involvement in the internet society among higher education students. *Int. Educ. Stud.* № 8. 203. doi: 10.5539/ies.v8n12p203.

36. Cockerham W. C. (2023) Health Lifestyle Theory in a Changing Society: The Rise of Infectious Diseases and Digitalization. *J Health Soc Behav.* Vol. 64, № 3. P. 437-451.
37. Hryshchenko N. V., Susska O. O. (2017) Such approaches to the evolution of communication processes in the context of transformation of media systems. *European Political and Law Discourse.* Vol. 4, № 2. P. 195-200.
38. Imas Ye. (2020) E-sports as a socio-sports phenomenon in the modern development of the information society. *Theory and Methods of Physical education and sports.* № 4. P. 13–17.
39. Pezdek K., Bronikowski M., Wawrzyniak S., Ludwiczak M., Węgrzyn M., Bronikowska M. (2023) Is e-sport a fully-fledged sport? Moral, educational and social dilemmas of e-sport. *J Sports Med Phys Fitness.* Vol. 63, № 7. P. 864-872.
40. Scorza F. A., Fiorini A. C., de Lima C. C., Camilo N., Magro E. P., Guimaraes L., Pavanelli C. et al. (2023) Medical research: Are e-Sports really sports? *Clinics (Sao Paulo).* Vol. № 78. 100190.
41. Fiore R., Zampaglione D., Murazzi E., Bucchieri F., Cappello F., Fucarino A. (2020) The eSports conundrum: is the sports sciences community ready to face them? A perspective. *J Sports Med Phys Fitness.* Vol. 60, № 12. P. 1591-1602. doi: 10.23736/S0022-4707.20.10892-2.
42. Emará A. K., Nag M. K., Cruickshank J. A., Kampert M. W., PiuZZi N. S., Schaffer J. L., Dominic K. D. (2020) Gamer's Health Guide: Optimizing Performance, Recognizing Hazards, and Promoting Wellness in Esports. *Curr Sports Med Rep.* Vol. 19, № 12. P. 537-545.
43. Tang D., Sum R., Li M., Ma R., Chung P., Ho R. (2023) What is esports? A systematic scoping review and concept analysis of esports. *Heliyon.* Vol. 9, № 12. e23248.
44. Di Francisco-Donoghue J., Balentine J., Schmidt G. (2019) Managing the health of the eSport athlete: an integrated management model. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* № 5:e000467.
45. Law A., Ho G., Moore M. (2023) Care of the Esports Athlete. *Curr Sports Med Rep.* Vol. 22, № 6. P. 224-229. doi: 10.1249/JSR.0000000000001077.
46. Behnke M., Stefanczyk M. M., Zurek G. (2023) Esports Players Are Less Extroverted and Conscientious than Athletes. *Cyberpsychol Behav Soc Netw.* Vol. 26, № 1. P 50-56.
47. Campbell M. J., Toth A. J., Moran A. P., Kowal M., Exton C. (2018) eSports: A new window on neurocognitive expertise? *Prog Brain Res.* № 240. P. 161-174.
48. Nagorsky E., Wiemeyer J. (2020) The structure of performance and training in esports. *PLoS One.* Vol. 15, № 8. e0237584. doi: 10.1371/journal.pone.0237584.
49. Reitman J. G. (2019) Esports research: a review. *Game. Cult.* Vol. 15, № 1. P. 32–50.
50. Behnke M., Gross J. J., Kaczmarek L. D. (2022) The role of emotions in esports performance. *Emotion.* Vol. 22, № 5. P. 1059-1070. doi: 10.1037/emo0000903.
51. Giakoni-Ramírez F., Merellano-Navarro E., Duclos-Bastías D. (2022) Professional Esports Players: Motivation and Physical Activity Levels. *Int J Environ Res Public Health.* Vol. 19, № 4. 2256.
52. Chiu W. (2021) Knowledge mapping and sustainable development of esports research: a bibliometric and visualized analysis. *Sustainability.* № 13. 18. doi: 10.3390/su131810354.
53. Jeong D., Youk S. (2023) Refining esports: a quantitative cartography of esports literature. *Entertainment Computing.* 47. doi: 10.1016/j.entcom.2023.100597.
54. Abdelmegeed M., Elkhawaga H. (2023) The use of the computer assisted rehabilitation environment in assessment. *Health, Sport, Rehabilitation.* Vol. 9, № 2. P. 118-131.
55. Pluss M. A., Bennett K. J., Novak A. R., Panchuk D., Coutts A. J., Fransen J. (2019) Esports: The Chess of the 21st Century. *Front Psychol.* Vol. 30, № 10. P. 156.
56. Brevers D., King D. L., Billieux J. (2020) Delineating adaptive esports involvement from maladaptive gaming: a self-regulation perspective. *Curr Opin Psychol.* № 36. P. 141-146.
57. Peresunko Z. M. (2013) Innovations as a factor of evolutionary changes in civilization. *Innovative economy.* № 8. P. 63-72.
58. De brabantere I. (2021) Homo informaticus. *Philosophy now.* № 141. P. 26-30.

Imas Ye.V., Lukyantseva H.V., Pastukhova V.A., Svirin Ya.R., Skorobogatov A.M., Sosnovski V.V., Zavalniuk V.L. ESPORTS AS ONE OF THE DRIVING FACTORS OF THE INFORMATION EVOLUTION OF HUMANITY

Abstract and problem. In today's society, information is one of the main resources. The rapid development of new information and communication technologies is transforming the lives of everyday

people in a specific digital environment. It encourages people to process an increasing amount of information in a short period of time and transform their mental strategies.

Purpose. The purpose of our article was to analyze modern scientific literature regarding the role of e-sports in the processes of informatization of society and the digital evolution of humans as a species.

Research methods. The analysis of modern literature was carried out by processing scientific sources that are presented in the scientometric databases of PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library and others over the last 5 years. We used the search terms "eSports", "digital evolution of humanity", "Homo informaticus". By keywords, 543 works were found, from which 58 works were selected for literary analysis. The selection of primary sources was carried out as follows - first, the topic of the article was analyzed. If the topic corresponded to the direction of our research, the abstract was analyzed. If the abstract corresponded to the direction of our research, then the text of the article was subjected to analysis. Studies that corresponded to the purpose of our work were collected and critically analyzed.

Main research results. The computerization of everyday life has led to the combination of virtual reality technologies with the principles of classical sports. The result of this synthesis was the emergence of eSports. Virtual reality provides unlimited possibilities for the design of gaming activities and the structure of the gamer's characteristics. A wide selection of game parameters expands the mental topology of an eSports player. The modification and transformation of intellectual characteristics changes the knowledge and psychological strengths of gamers.

Scientific novelty of research results. Basic biological instincts and acquired sociocultural skills force humanity to lead an informational lifestyle. E-sports complements the information structure of the gamer's personality. Being in the electronic world leaves an imprint on a person's consciousness, behavior, outlook and culture.

Conclusion. Adaptation in the virtual space and the formation of a suitable lifestyle for e-athletes is already a reality. Therefore, e-sports as an example of global digitalization is one of the driving factors of the information evolution of society.

Keywords: eSports, digital evolution, informatization of society.

Одержано редакцією: 01.03.2024

Прийнято до публікації: 04.04.2024

УДК 616.345+612.741+613.291

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-29-34

Pavlo Volodymyrovych Kirichek

National University of Physical Education and Sports of Ukraine

del-p@ukr.netORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2760-9225>

MODULATION OF THE CONTRACTILE ACTIVITY IN THE SMOOTH MUSCLES OF THE COLON BY BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

The large intestine motility ensures of implementation the reservoir function, mixing of chyme, moving it into the rectum and other functions of the gastrointestinal tract. Violation of colon motility leads to pathophysiological manifestations of many diseases and pathologies of the gastrointestinal tract. Very important issue in the modern biology is possibility for correction of the tone and contractile activity in the smooth muscle cells of the large intestine.

Biologically active substances (NH₄Cl, calcium channel blocker flonidone, potassium channel activator flokalin, compound "C") modulated of the frequency and amplitude of phase components and spontaneous motor activity in smooth muscles with different frequency and intensity. It was established that the level of extracellular and intracellular pH, functioning of calcium and potassium channels of plasmatic membrane play an important role in the dynamics of motor activity of smooth sigmoid myocytes.

Keywords: myocytes; sigmoid colon; pH; flokalin; flonidone, compound "C".

Formulation of the problem. Analysis of recent research and publications. Very important is the realization of secretory, motor and absorption functions of all parts in the gastrointestinal tract for the full assimilation of nutrients.

Smooth muscles cells provided the contractile activity in the large intestine in a human. This contractile activity ensures of reservoir function realization, mixing of the chyme during digestion of nutrients and propulsion it into the rectum with subsequent removal from the body [1, 2].

The regulation of motor function occurs in the large intestine due to the complex of central and local factors, their combined effects on the intestine cells, among which nervous and humoral influences can be distinguished. All of these factors are regulators and modulators of contractile and coordinated activity in the smooth myocytes of muscular circular and longitudinal layers in the large intestine [2, 3].

Colon motility disorders lead to pathophysiological manifestations for many diseases and pathologies in the gastrointestinal tract, such as constipation, irritable bowel syndrome, diverticulosis, tumour transformations, etc. [4-7]. This is colon motility dysfunctions can be result of disorders in coordinated activity of central and autonomic nervous system, humoral motility regulation of the gastrointestinal tract, blood circulation deterioration in the submucosa and muscular layer of the intestine, dystrophy of neurons in the intermuscular neuron plexus, etc. [8-10]. Motility disorders caused by slowing down of intestine contractile activity in the digestive tract can be led to secondary dysfunctional changes in their activity. The main of them are the dysfunctional disorders of cavity, wall and membrane digestion and absorption processes, as well as disruption of homeostasis in the intestinal microbiocenosis with the development of dysbacteriosis [11, 12]. In the intestine changes internal environment composition, which intensifies the already existing disorders of digestive processes arising against this background. This leads to damage of the epithelium, the development of an inflammatory process, which marks the transition from functional disorders to beginning of a disease with a real pathological and morphological basis [13, 14].

Thus, our investigation was dedicated to study of the peculiarities of the influence by potential endo- and exogenous correctors on the intestinal motor activity as one of the keys that lead

to the high level their functionality. This investigation has an actual scientific and practical significance for modern biological science.

The purpose of the study. To study the effect of several biologically active substances on the motor activity dynamic of smooth muscle preparations in a human's sigmoid colon.

Object and research methods. This work is a fragment of the chair's scientific research work "Features of somatic, visceral and sensory systems in trained athletes at different stages of training" (state registration № 0116U001632).

We studied of smooth muscle cell contractile activity dynamic on the muscle preparations of the sigmoid colon in the mature rats. Muscle strips (2-3 mm long, 0.5-0.7 mm thick) were extracted from the longitudinal muscle layer of the sigmoid colon under a binocular microscope MBS-9 to prepare of a preparation with muscle strips, which we used in our further studies. The muscle strip has placed in a flow chamber and perfused with Krebs solution in the following composition (mmol/l): Na – 140,3; K – 5,4; Mg – 1,1; Ca – 2,5; Cl – 149,1; Tris – 10,0 (manufacturer - "Serva", Germany). The pH of solution was adjusted to 7.4; the temperature was maintained at the level of 33°C with help of automatic thermostating.

Effects of the selected experimental substances investigated by direct addition them to the perfusion solution.

The myographic method was used to study of the contractile activity dynamic in intestinal preparations. The muscle strip preparation has stretched to L_{max} , then recorded the force of contraction in the isometric mode, which carried out with help of a 6MX-1C mechanotron (according to the bridge scheme). These contractions were recorded on the N-3031 recorder, and at the same time, the contractile activity of the intestinal preparation was observed on the monitor of the C1-83 oscilloscope. The glass hook was used to connect biological and measuring systems. It was brought under the test area of the muscle preparation and connected to the mechanotron rod. The mechanotron was fixed in the PM-1M three-coordinate manipulator. The initial stretch of the muscle strip was set by vertical movement of the mechanotron.

In our investigations, we have been studying the effects of NH_4Cl solutions and the synthesized substance "C" and its separate components - the calcium channel blocker - flonidine and the potassium channel activator - flomalgin on the contractile activity of intestinal smooth muscle cells. This compound was synthesized in the Organic Chemistry Institute of the Ukrainian National Academy of Sciences by supervision of prof. Yagupolsky L.M.

All test's substances has introduced into the perfusion streams at a concentration of 10^{-5} - 10^{-6} mol/l. NH_4Cl solution was used to alkalize of the Krebs solution, which perfused an isolated muscle strip in a flow chamber.

The obtained data were subjected to statistical processing using the Student's t-test, and standard application programs for statistical processing of materials also.

The experiments were conducted in accordance with the international principles of the Helsinki Declaration "Humane Treatment of Animals" (2000) and "Common Ethical Principles of Experiments on Animals" approved by the First National Congress of Bioethics (Kyiv, 2001).

The author expresses deep gratitude to Doctor of Medical Sciences, Corresponding Member of the Ukrainian National Pedagogical Academy of Sciences, Professor V.G. Shevchuk for help and comprehensive support in organization of researches.

Research results and their discussion. Ours researches has shown fluctuations in the muscle tone of smooth muscle cells in the intact specimens of isolated muscle strips that was extracted from the sigmoid colon. Expressive tonic activity was recorded in 59.5% (in 22 muscle preparations out of 37 studied). The spontaneous activity was observed in the intestine smooth muscle cells in 40.5% (15 cases). (Fig. 1). Sometimes, myocytes contractile activity had clearly defined phasic components, sometimes it arose against the background of increased muscle tone.

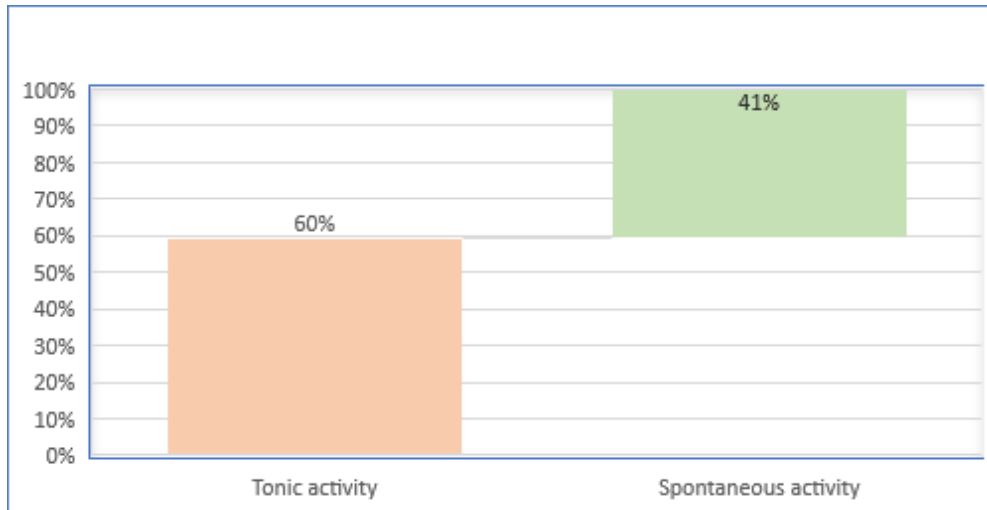


Fig. 1. Muscle activity recorded on intact samples in isolated muscle strips of smooth muscle cells extracted from the sigmoid colon.

The amplitude of contractions was 375.74 ± 97 mg in the isolated preparations of the intestinal muscle wall in the initial state. The frequency of phasic contractions was on average 0.05 ± 0.03 Hz in the isolated preparations of the intestinal smooth muscle cells that was obtained from the sigmoid colon also.

NH_4Cl solution was used to alkalize of the Krebs solution, which perfused an isolated muscle strip in a flow chamber. The NH_4Cl solution caused changes of cellular and extracellular pH in smooth muscle cells, which affected on the contractile activity of the isolated smooth muscle cell preparation. (Shown on Fig. 2).

On the figure 2 we can see, how artificial alkalization in perfusion solution, that is washed of a muscle strip leads to the significant increase in the amplitude of phasic components the spontaneous activity in the preparations of the intestinal muscle wall up to 1200 ± 102 mg. A muscle tone increased in isolated preparations of the sigmoid colon muscle wall by an average of 475.7 ± 97 mg in the absence of an increase in the amplitude of the phasic components of spontaneous activity.

Verapamil has introduced in the perfusion solution caused an increase the amplitude of spontaneous activity and muscle tone in the smooth muscle preparations. Such contractile activity is probably associated with increased membrane permeability to calcium ions in the smooth muscle tissue of the sigmoid colon wall. This is likely possible due to the activation of the receptor apparatus in the smooth muscle cells also. Perhaps, this is the effect of the NH_4Cl molecule on the contractile activity of smooth muscle cells under alkaline conditions.



Fig. 2. Increase in the amplitude of phasic components in spontaneous motor activity in the rat's sigmoid colon under the influence of NH_4Cl ; the arrow indicates on the moment of NH_4Cl introduction into the perfusate.

In the next series of experiments, we studied the effects of ion channel modulators on the contractile activity in intestinal smooth muscle cells obtained from the sigmoid colon wall. We researched the effects of synthesized substance "C" and its separate components - the calcium channel blocker (foridone) and the potassium channel activator (flokalin) on the contractile activities of the smooth muscle cells in the investigated sigmoid colon strip. We observed the presence of the phasic and tonic muscle contraction components on intact muscle preparations of the sigmoid colon. Our experiments have shown that frequency of contraction phasic components in the sigmoid smooth muscle cells was on average 0.05 ± 0.02 Hz, and the amplitude of muscle contractions was 675.7 ± 97 mg in the initial state.

Muscle strips demonstrated decreasing of ability to spontaneous contractions after introduction of the phoridone into perfusion solution that washed the muscle preparations of the sigmoid colon intestinal wall. This was manifested to reduction of the amplitude and frequency in muscle contractions, which was accompanied by a gradual disappearance of automaticity. Foridon administration reduced muscle contractile activity in the smooth muscle preparations of the sigmoid intestinal wall, probably due to potential decrease in the concentration of Ca^{2+} ions in the cell myoplasm. Flocalin application have got a similar effect on the contractile activities of the smooth muscle cells in the investigated sigmoid colon muscle strip. The ability of a smooth muscle cells to the spontaneous activity had decreased in the investigated muscle preparations. This was evidenced by a decrease in amplitude and frequency of muscle contractions in sigmoid colon muscle strip, with the gradual disappearance of smooth muscle automaticity.

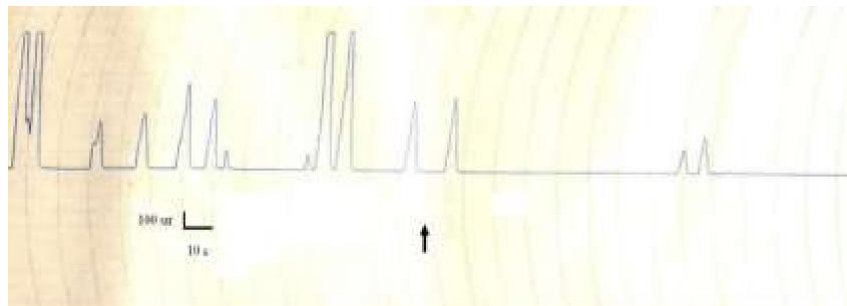


Fig. 3. The effect of substance "C" on the contractile activity of the smooth muscle preparation in the sigmoid colon; the arrow indicates on the moment of substance "C" introduction into the experimental perfusion solution.

A series of the next experiments demonstrated influence of the synthetic substance "C" on contractile activities of the investigated smooth muscle cells preparation in the sigmoid colon. The synthetic substance "C" combines in one molecule both modulators of ion channels (flocalin and foridon). The complex substance "C" effect leads to decrease in the amplitude (from 675.7 ± 97 mg to 385.6 ± 74 mg) and the frequency of phasic muscle contractions (from 0.05 ± 0.02 Hz to 0.03 ± 0.018 Hz) after introducing this substance into perfusion solution that washed smooth muscle strip in a flow chamber. This occurs more significantly (on average by 50% compared to the initial level, sometimes to complete cessation) than under the influence of flocalin or foridon alone. (Fig. 3).

Probably, substance "C" caused a significant inhibition of the calcium ion current flow through the cytoplasmic membrane into the sarcolemma of investigated smooth muscle cells in the sigmoid colon.

This is most likely associated with a myocyte's membrane low-threshold T- Ca^{2+} channels, which as usually caused periodic fluctuations of the smooth muscle cells membrane potential, that is necessary for the generation of smooth muscle spontaneous activity.

At the same time, it's activation myocyte's membrane ATP-dependent K^{+} channels are significantly increase current flow of the potassium ions through the cytoplasmic membrane into the extracellular environment from the sarcolemma of investigated smooth muscle cells.

Causally it's led to hyperpolarization of smooth myocytes plasma membrane, which ultimately leads to a decrease in the contractile activity in the sigmoid colon smooth muscle cells.

Conclusions.

1. The experimental NH_4Cl solution increased the phasic components amplitude of the smooth muscle spontaneous contractile activity due to perfusion of investigated sigmoid colon isolated muscle strip. However, muscle tone has increased if spontaneous contractile activity was absent.

2. The complex substance "C" leads to a significant reduction or cessation of the smooth muscle spontaneous contractile activities of investigated sigmoid colon isolated muscle strip.

3. Very important role plays activity of cell membrane calcium and potassium channels in the smooth muscles for the motor activity dynamics of smooth myocytes in the sigmoid colon wall. Great importance has level of extracellular and intracellular pH for the smooth muscle's contractile activity process also.

Prospects for further research. In further studies, we will have been planning to investigate the effect of selected substances on the morphofunctional organization of smooth myocytes, using electron microscopy.

References

1. Bharucha A. E., Brookes S. J. Neurophysiologic Mechanisms of Human Large Intestinal Motility. *Physiology of the Gastrointestinal Tract, Elsevier Inc.* 2018, 1812 p. 10.1016/B978-0-12-809954-4.00023-2.
2. Marklund U. Diversity, development and immunoregulation of enteric neurons. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol.* 2022. No. 2. P. 85-86. doi: 10.1038/s41575-021-00553-y.
3. Thomasi B., Gulbransen B. Mini-review: Intercellular communication between enteric glia and neurons. *Neurosci Lett.* 2023. Vol. 29. No. 806. 137263. doi: 10.1016/j.neulet.2023.137263.
4. Huizinga J. D. Recent advances in intestinal smooth muscle research: from muscle strips and single cells, via ICC networks to whole organ physiology and assessment of human gut motor dysfunction. *J Smooth Muscle Res.* 2019. Vol. 55. No. 0. P. 68-80. doi: 10.1540/jsmr.55.68.
5. Kim Y. S. Diagnosis and Treatment of Colonic Diverticular Disease. *Korean J Gastroenterol.* 2022. Vol. 79. No. 6. P. 233-243. doi: 10.4166/kjg.2022.072.
6. May C. L., Kaestner K. H. Gut endocrine cell development. *Mol. Cell. Endocrinol.* 2010. Vol. 323. No. 1. P. 70-75.
7. Lannagan T. R., Jackstadt R., Leedham S. J., Sansom O. J. Advances in colon cancer research: in vitro and animal models. *Curr Opin Genet Dev.* 2021. Vol. 66. P. 50-56. doi: 10.1016/j.gde.2020.12.003.
8. Furness J. B., Callaghan B. P., Rivera L. R., Cho H. J. The enteric nervous system and gastrointestinal innervation: integrated local and central control. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2014. No. 817. P. 39-71.
9. Camilleri M. Diagnosis and Treatment of Irritable Bowel Syndrome: A Review. *JAMA.* 2021. Vol. 325. No. 9. P. 865 - 877. doi: 10.1001/jama.2020.22532.
10. Huizinga J. D., Hussain A., Chen J.-H. Interstitial cells of Cajal and human colon motility in health and disease. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol.* 2021. Vol. 321. No. 5. G552-G575. doi: 10.1152/ajpgi.00264.2021.
11. Wang J.-K., Yao S.-K. Roles of Gut Microbiota and Metabolites in Pathogenesis of Functional Constipation. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2021. 5560310. doi: 10.1155/2021/5560310.
12. Wang S.-Z., Yu Y.-J., Khosrow A. Role of Gut Microbiota in Neuroendocrine Regulation of Carbohydrate and Lipid Metabolism via the Microbiota-Gut-Brain-Liver Axis. *Microorganisms.* 2020. Vol. 8. No. 4. P. 527. doi: 10.3390/microorganisms8040527.
13. Singh R., Zogg H., Ghoshal U. C., Ro S. Current Treatment Options and Therapeutic Insights for Gastrointestinal Dysmotility and Functional Gastrointestinal Disorders. *Front Pharmacol.* 2022. Vol. 13. 808195. doi: 10.3389/fphar.2022.808195.
14. Bassotti G., Satta P. U., Bellini M. Chronic Idiopathic Constipation in Adults: A Review on Current Guidelines and Emerging Treatment Options. *Clin Exp Gastroenterol.* 2021. Vol. 14. P. 413-428. doi: 10.2147/CEG.S256364.

Kirichek P.V. MODULATION OF THE CONTRACTILE ACTIVITY IN THE SMOOTH MUSCLES BY BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

Introduction. Regulation of the contractile activity occurs due to a complex of nervous and humoral factors in the colon wall muscle tissue. Colon motility disorders lead to pathophysiological manifestations for many diseases and pathologies in the gastrointestinal tract, such as constipation, irritable bowel syndrome, diverticulosis, tumour transformations, etc. Very important signification has the possibility for tone and contractile activity potential correction in the smooth muscle cells of the human colon with help of biologically active substances, changes pH, etc.

Purpose. To study the effect of several biologically active substances on the motor activity dynamic of smooth muscle preparations in a human's sigmoid colon.

Methods. The investigations of contractile activity dynamic in the smooth muscle cells were carried out on the sigmoid colon preparations of sexually mature rats. The myographic method was used to study the dynamics of the contractile activity of intestinal preparations. All test's substances has introduced into the perfusion streams at a concentration of 10^{-5} - 10^{-6} mol/l. NH_4Cl solution was used to alkalize of the Krebs solution, which perfused an isolated muscle strip in a flow chamber. Muscle contraction force was recorded in isometric mode.

The obtained data were subjected to statistical processing using the Student's t-test, and standard application programs for statistical processing of materials also. The experiments were conducted in accordance with the international principles of the Helsinki Declaration "Humane Treatment of Animals" (2000) and "Common Ethical Principles of Experiments on Animals" approved by the First National Congress of Bioethics (Kyiv, 2001).

Results. Ours researches has shown fluctuations in the muscle tone of smooth muscle cells in the intact specimens of isolated muscle strips that was extracted from the sigmoid colon. Sometimes, myocytes contractile activity had clearly defined phasic components, sometimes it arose against the background of increased muscle tone.

The experimental synthetic substance "C" was studied. This is complex substance that combines in one molecule both modulators of ion channels (flocalin and foridon). Complex substance "C" that was administrated into perfusion solution leads to decrease in the amplitude (from 675.7 ± 97 mg to 385.6 ± 74 mg) and the frequency of phasic muscle contractions (from 0.05 ± 0.02 Hz to 0.03 ± 0.018 Hz). This is more significant (on average by 50% in relation to the initial level, sometimes to complete cessation) than under the influence of flocalin or foridon alone.

Artificial alkalization led to a significant increase in the amplitude of phasic components and spontaneous activity in the preparations of the intestinal muscle wall up to 1200 ± 102 mg.

Originality. Probably, the substance "C" caused a significant inhibition of the calcium ion current flow through the cytoplasmic membrane into the sarcolemma of investigated smooth muscle cells in the sigmoid colon. At the same time, it's activation myocyte's membrane ATP-dependent K^+ channels are significantly increase current flow of the potassium ions through the cytoplasmic membrane into the extracellular environment from the sarcolemma of investigated smooth muscle cells. Causally it's led to hyperpolarization of smooth myocytes plasma membrane, which ultimately leads to a decrease in the contractile activity in the sigmoid colon smooth muscle cells.

Conclusions.

1. The experimental NH_4Cl solution increased the phasic components amplitude of the smooth muscle spontaneous contractile activity due to perfusion of investigated sigmoid colon isolated muscle strip. However, muscle tone has increased if spontaneous contractile activity was absent.

2. The complex substance "C" leads to a significant reduction or cessation of the smooth muscle spontaneous contractile activities of investigated sigmoid colon isolated muscle strip.

3. Very important role plays activity of cell membrane calcium and potassium channels in the smooth muscles for the motor activity dynamics of smooth myocytes in the sigmoid colon wall. Great importance has level of extracellular and intracellular pH for the smooth muscle's contractile activity process also.

Keywords: myocytes; sigmoid colon; pH; flocalin; foridone, compound «C».

Одержано редакцією: 22.02.2024

Прийнято до публікації: 25.03.2024

УДК 616-072

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-35-45

Volodymyr Serhiyovych Lyzohub

Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

v_lizogub@ukr.netORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3001-138X>**Ivan Ivanovych Salivonchuk**

Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

911salivon@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5379-518X>**Yuliya Vitaliyivna Koval**

Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

uyla0077@ukr.netORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7160-5240>**Olha Volodymyrivna Paliichuk**

Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

oncology@2upost.comORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8782-7956>

ROLE OF VISUAL INFORMATION IN MAINTAINING STATOKINETIC STABILITY ON STEADY AND UNSTEADY PLATFORM

Statokinetic stability was studied in 16-year-old boys (37 individuals) on the steady and unsteady platform of the “MPFI stabilograph-1” and the Stabilis software package under the condition of feedback (FB) and closed eyes (CE). Visual deprivation was found to have the same effect on reducing statokinetic stability as unsteady platform. Statokinetic stability significantly decreased on an unsteady platform in conditions of CE that led to the tension of postural mechanisms of regulation. In the conditions of CE on an unsteady platform of the stabilograph in young men, there was a statistically significant decrease in the quality factor of the balance regulation function (KFR,%), an increase in the length of the oscillation trajectory of the pressure center (Length, mm), the average speed of the movement of the pressure center (AvgSpeed, mm/s), the average range of oscillation of the pressure center (Range, mm) and the average frequency of the oscillation spectrum of the pressure center in the mediolateral and anteroposterior plane (wAvgFMA, Hz) than on a steady platform with FB and CE.

The availability of visual information on an unsteady platform allows for significant improvement of statokinetic stability and reduction of the tension on postural regulation mechanisms. The results show that under the condition of the changed platform and visual control, the stabilography indicators change disproportionately. The identified features of changes in stabilographic indicators are stipulated by different contributions to the process of postural regulation of visual and proprioceptive afferentation. It has been proven that under the condition of standing on an unsteady platform, visual afferentation makes a much smaller contribution to the integrative processes of regulation of statokinetic stability than sensory information from proprioceptors of postural muscles.

Key words: *statokinetic stability; stabilography; sensory deprivation; unsteady platform.*

Researching the regulation mechanisms of human statokinetic stability is an urgent task of physiology and treatment of various disorders of the functions of the central nervous system and motor apparatus [1, 2, 3, 4]. This problem is also relevant for the diagnosis of functional states of a person in various types of work, military and sports activities [3, 5, 6, 7, 8, 9]. Balance is one of the leading coordination abilities for many sports. Therefore, monitoring the ability to maintain balance is critically important both for a comprehensive analysis of the level of sportsmen’s preparation and the staffing and selection of teams [10, 11]. A high level of postural stability is also necessary to perform everyday safe actions and to reduce the risk of falling [12, 13].

The vertical position of the human body is not stable due to the high position of the center of gravity from the support. Under any conditions that destabilize the balance of the statokinetic

neuronetwork system, the mechanisms that correct the stability of the body are included. In some cases, the contribution of different analyzers to the regulation of statokinetic stability can selectively decrease or increase [14, 15, 16]. When the role of one analyzer is reduced, compensation is provided by greater activity of other systems [17, 18]. Some authors believe that the availability of visual information in maintaining statokinetic stability is not necessary, but its limitation significantly worsens the quality of the regulation of the vertical position of the body [19, 20]. It is also known that the visual system solves the task of stabilizing statokinetic stability by several mechanisms. First, the visual sensory system is involved in estimating the magnitude, speed, and direction of body movement in space [21]. Secondly, it can indirectly affect the quality of the regulation of statokinetic stability through the non-specific effect of the visual analyzer on the tonic contraction of postural muscles or through the vestibular system [22]. Partial or complete dysfunction of visual information causes a decrease in postural stability, which leads to an increase in the speed and amplitude of oscillation of the general center of pressure. In normal standing conditions, the contribution of visual information to the control of statokinetic stability is insignificant [23]. However, the effect of additional load on postural mechanisms caused by limited visual information has not been fully elucidated.

To measure various indicators of postural stability, data from various types of balance platforms are most often used. They facilitate the evaluation of postural stability under the condition of displacement of the pressure center on the platform of the stabilograph [24, 25]. Unfortunately, these platforms are usually very large and expensive, and their software is complex [26]. Another group of equipment for balance measurements is Wii Balance Boards [27, 28, 29]. In population studies, balance is tested using various motor coordination tests. The most popular among them is the Flamingo Balance test from the Eurofit Physical Fitness Test Battery [30]. Tests with unstable platform were also used. In some studies, no violation of statokinetic stability was found under the condition of maintaining a vertical posture on an unsteady platform [31]. In other researches, it is shown that in conditions of unsteady platform, the reliability of proprioceptive information from the foot decreases, the efficiency of integration of sensory systems in neural networks of posture regulation is impaired [32]. Under such conditions, the speed and reliability of muscle reactions decreases [33], the value of the visual sensory system increases significantly [5, 34, 35]. However, the role of visual information in the control of statokinetic stability in conditions of unsteady platform has not yet been fully investigated. Maintaining statokinetic stability on a moving platform is distinguished by a number of features. First, in a position on an unsteady platform, the pressure of the foot on the platform decreases, the proprioceptive information coming from the ankle joint is distorted. Second, due to the increase in the speed of body oscillation, the role of the vestibular and visual analyzers in the posture regulation system significantly increases. Third, the role of higher centers of postural regulation, perception, attention, memory, and intelligence increases [36, 37, 38].

Thus, the research material presented above shows that the role of visual information in ensuring statokinetic stability on an unsteady platform is not fully defined. Therefore, the goal of the study is to find out the mechanisms of regulation of statokinetic stability under conditions of load on postural muscles caused by visual derivation and unsteady platform. We try determine the regulation mechanisms of statokinetic stability under the condition of lack of visual information and unsteady platform. To investigate the role of the preserved and limited visual information in postural control, we use the feedback (FB) and eyes-closed (CE) tests on a steady and unsteady stabilograph platform. We choose an unsteady platform based on the results of previous studies [32, 37] that show different dynamics of stabilographic indicators than on a steady platform.

Materials and Methods. Broad implementation of computer technologies, including the development of a system for recording vertical posture, led to the emergence of computer stabilometry. This allows us to make a digital recording of deviations of statokinetic stability under the condition of performing various tests. In addition, this technique can perform a computer analysis of the received data, as well as calculate a number of dynamic indicators, which are important for studying the physiological mechanisms of the interaction of the body's sensory

systems. Various damages and functional disorders can be reflected in the quantitative and qualitative indicators of stabilometry. Therefore, the study of the regulation mechanisms of the body vertical position can be performed by the method of stabilography, the main idea of which is to record the amplitude-time characteristics of postural stability on a steady platform [36, 38].

37 practically healthy young men (age = 16.67 ± 0.88 years, body length = 174.82 ± 6.87 cm, body weight = 71.55 ± 7.62 kg) participated in the study. Participation in the experiment was voluntary and complied with the bioethical norms of the Declaration of Helsinki (1964 and all its revisions, including the last one in 2000). Subjects were informed and consented to participate in the study.

Statokinetic stability of the subject was determined on the platform (40x40 cm). The registration of the stabilogram was performed under the condition of 4 tests. First, a test was performed on a steady platform with the FB. On the steady platform of the stabilograph, the subjects arbitrarily kept the vertical position of the body. The toes were spread to an angle of 20° , and there was a distance of 6 cm between the heels.

In the first test with FB, the subjects visually controlled their body position. For this purpose, a flashlight was attached to the subject's head, with the help of which the subject had to direct the beam into a 10x10 square located at a distance of 1.5 m. The second test was performed by the subjects in the conditions of CE. In the third test, the statokinetic stability was determined on the unsteady platform of the stabilograph with FB. The fourth test was performed on the unsteady platform of the stabilograph in conditions of CE.

Three tests were conducted with each subject, and the best result was chosen. The subjects independently arbitrarily distributed the load for the vertical position. The duration of each test was 60 seconds. The sequence of tests and standing conditions were the same for all subjects.

When performing test tasks in digital mode, a recording lasting 60 s was made. with a discreteness of $25 \text{ l } \Delta\tau = c$, and the stabilogram signals were processed. Indicators of the functional state of the system and the regulation of statokinetic stability were evaluated by the quality factor of the balance regulation function (KFR,%), the length of the trajectory of the pressure center oscillation (Length, mm), the average speed of the pressure center movement (AvgSpeed, mm/s), the average swing of the pressure center oscillation (Range, mm). In addition, the spectral density of the initial signal in the Fourier series for the anteroposterior and mediolateral planes and the average frequency of the pressure center oscillation spectrum (wAvgFMA, Hz) were determined.

Statistical data processing was performed using packages for medical and biological research (SPSS, version 21, IBM, USA). Analysis of indicators obtained as a result of stabilogram processing shows that their distribution differs from normal. Accordingly, in the further statistical analysis, non-parametric criteria were used and descriptive statistics (median, error of the median, I and III quartiles) and the Wilcoxon test were applied. Tukey's test with Bonferroni correction was used to determine significant differences ($p < 0.05$) between mean values.

Research results. In accordance with the objectives of the study, we determined the indicators of statokinetic stability of the subjects in different conditions of visual function on a steady and unsteady platform.

The role of visual information in the regulation of statokinetic stability on a steady platform. In the first test, the subject had to maintain a posture on a steady platform of the stabilograph with FB. While performing the test with FB, the subject maintained static kinetic stability on a steady platform and simultaneously directed the beam of the flashlight into a square located at a distance of 1.5 m. The subjects performed this task without excessive psycho-emotional stress. Statokinetic stability was achieved through the interaction of various stabilogram variables and the participation of integrative mechanisms of the central nervous system, vestibular, visual analyzers, and joint-muscle proprioception.

Performing the second test with CE was more difficult and was characterized by changes in the stabilogram indicators. The results of the stabilography study with FB differed from the indicators in the test with CE. Thus, in the test with CE, the subjects had statistically significantly increased Length and AvgSpeed indicators of the stabilogram, and the decreased KFR in

comparison with the values in the conditions of FB ($p < 0.05$ - $p < 0.001$). Although the Range and wAvgFMA indicators in the test with CE increased compared to FB, they did not achieve statistically significant changes ($p > 0.05$). The results of the stabilogram when performing tests with FB and CE in young men on a steady platform are presented in the Table 1.

Table 1

Stabilometry indicators (Me [25%; 75%]) of subjects (n=32) under conditions of performing tests with open (1) and closed eyes (2) on a steady platform

Stabilogram indicators		Statistics indicators						T	p
		Me±m	25%	75%	Мін.	Макс.			
Length, mm		437.6±21.1	419.2	453.7	396.9	502.8	13.1	p<0.001	
		855.3±31.3	823.5	889.2	728.3	1439.4			
AvgSpeed, mm/s	1	8.4±1.2	6.7	9.3	7.5	9.07	4.6	p<0.001	
	2	14.1±1.2	12.5	15.9	10.6	16.6			
KFR, %	1	77.6±2.3	74.24	81.8	63.9	95.4	13.1	p<0.001	
	2	51.3±1.8	48.2	57.8	46.8	65.8			
Range, mm	1	22.1±1.3	18.7	25.3	17.5	29.7	0.5	p>0.05	
	2	23.2±0.8	18.5	25.9	18.6	31.6			
wAvgFMA, Hz	1	0.26±0.01	0.24	0.27	0.22	0.29	0.5	p>0.05	
	2	0.27±0.02	0.26	0.32	0.23	0.35			

Note: 1 – open eyes, OE; 2 – closed eyes, CE.

Table 1 shows that in young men, under the condition of changed visual information, statistically significant changes occurred in the amplitude-frequency characteristics of the studied stabilography indicators Length, AvgSpeed and KFR. Only indicators of the average amplitude of the pressure center oscillation and the average area of the spectral density of the pressure center oscillation under the condition of CE were not marked by higher values, compared to the indicators obtained during registration with FB ($p > 0.05$). Based on the results presented in Table 1 and literature data, we note that the test with closed eyes is informative for assessing postural stability. During its performance, the motor task is implemented under the condition of blocking visual information [5, 39].

The role of visual information in the regulation of statokinetic stability on an unsteady platform. The third and fourth tests were performed in the same way as the first two with FB and CE, but on the unsteady platform of the stabilograph (Table 2).

Table 2

Stabilogram indicators (Me [25%; 75%]) of subjects (n=32) under the condition of performing tests with open (1) and closed eyes (2) on an unsteady support

Stabilogram indicators		Statistics indicators						T	P
		Me±m	25%	75%	Мін.	Макс.			
Length, mm	1	1039 ± 50.3	981.4	1064.7	852.0	1118.4	12.4	p<0.001	
		2033 ± 93.1	1890.59	2132.5	1653.9	2279.5			
AvgSpeed, mm/s	1	17.5 ± 2.1	15.7	19.3	14.5	21.0	3.6	p<0.001	
	2	29.3 ± 3.2	25.5	34.9	22.6	37.6			
KFR, %	1	42.3 ± 4.8	38.4	48.8	33.9	51.4	3.7	p<0.001	
	2	24.4 ± 4.6	18.2	32.8	16.8	35.8			
Range, mm	1	35.6±2.6	32.7	38.3	27.5	41.7	4.8	p<0.001	
	2	48.5±2.7	45.5	51.9	38.6	53.6			

wAvgFMA, Hz	1	0.35±0.01	0.32	0.37	0.30	0.39	3.0	p<0.001
	2	0.38±0.01	0.33	0.39	0.31	0.41		

During the performance of the third and fourth tests on an unsteady platform with closed eyes, an increase in the wAvgFMA spectral power at frequencies of 0.3-0.4 Hz was found in young men compared to FB ($p < 0.05$).

Note: 1 – open eyes, OE; 2 – closed eyes, CE.

The study of stabilometry on an unsteady platform made it possible to establish a statistically significant increase in Length, AvgSpeed and Range and a decrease in CFR in young men under the condition of performing the task with CE, in comparison with the indicators obtained with FB ($p < 0.05 - 0.001$). In addition, in young men, during the test with CE on an unsteady platform, an increase in the power of the spectrum of oscillations at a frequency of 0.4 Hz was found in comparison with FB ($p < 0.05$). This indicates that proprioceptive afferentation is enhanced under the condition of CE on an unsteady platform, as well as the predominance in the structure of movements that support the vertical posture of small high-frequency oscillations.

The role of visual information in the regulation of statokinetic stability on steady and unsteady platform. To determine the role of visual information in the regulation of postural stability on steady and unsteady platform, we calculated the change in stabilography indicators in %. The indicators obtained under the condition of FB on a steady platform of the stabilograph were taken as the initial values (Table 3).

Table 3

Change in stabilogram indicators in % with eyes open and closed on steady and unsteady platform compared to the initial values

Studied indicators	Steady platform Closed eyes	Unsteady platform Open eyes	Unsteady platform Closed eyes
Length, mm	+ 95	+ 137	+ 365
AvgSpeed, mm/s	+ 75	+ 112	+ 162
KFR, %	- 34	- 46	- 68
Range, mm	+4	+ 63	+ 118
wAvgFMA, Hz	+4	+ 35	+ 42

The results show that the reaction of the investigated indicators to postural load in the conditions of normal sensory information and steady platform and in the condition of blocking of visual information and on unsteady platform was different. The limitation of visual information on a steady platform significantly increased the tension of the mechanisms of regulation of statokinetic stability. Blocking of visual information on a steady platform (second test) worsened KFR indicators by an average of 34%. This indicates that the restriction of afferentation from the visual analyzer disrupts integrative processes in the interaction of the higher departments of the central nervous system, vestibular and proprioception. In the case of standing on an unsteady platform (the third test) and maintaining visual control, the CFR decreased by a much larger amount - 46%. The given results demonstrate a greater dependence of statokinetic stability on afferentation coming from postural ligaments and muscles than on the visual sensory system. Whereas, in the case of simultaneous blocking or restriction of visual and proprioceptive control over the vertical position of the body, all studied indicators of the stabilogram significantly deteriorate. This is confirmed by the fact that in the fourth test, the integral indicator of the quality factor of the balance control function decreased by 68%.

Therefore, the results of the study with the successive exclusion of sensory afferentation show that the limitation of proprioceptive information makes much greater corrections in the integrative processes of regulation of statokinetic stability than visual. Simultaneous exclusion of

visual information and limitation of proprioceptive afferentation on an unsteady platform with closed eyes leads to a significant strain on the mechanisms of postural regulation.

Discussion of results. In this study, it is important to find out how effective the contribution of visual information is to the regulation of statokinetic stability under the condition of a changed structure of the platform surface under the foot. Changed conditions of sensory information were modeled by sequentially excluding or limiting afferentation from the visual analyzer and postural receptors of ligaments and muscles. First, the subjects performed the task of maintaining the vertical position of the body on the stabilograph with FB, then moved on to the test with CE. Changed conditions of sensory information from foot mechanoreceptors were achieved by standing on a steady and unsteady support of the stabilograph.

It was found that in the process of maintaining the vertical position of the body with the FB on a steady platform (the first test), the subjects reacted by slightly increasing the speed of body oscillation and increasing the length of the oscillation trajectory of the pressure center. Under such conditions, the indicator of the quality factor of the balance regulation function, KFR, was 77.6%. (Fig. 1).

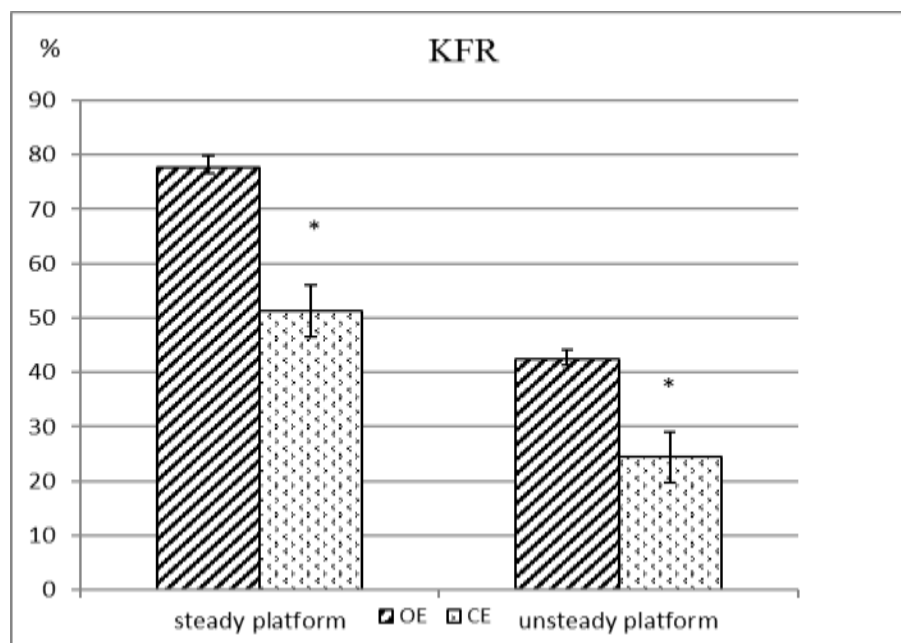


Fig. 1. Change in the quality factor of the balance control function (%) of the subjects (n=32) with open and closed eyes on the steady and unsteady platform of the stabilograph
Note: * - statistical probability of difference at the $p < 0.05$ level

There was no visual signaling in the second test. Under these conditions, the subjects could not compensate for the statokinetic stability. The lack of visual information was manifested in a reduced KFR up to 51.3% and a statistically significant increase in Length, AvgSpeed, Range and spectral power area at frequencies of 0.3 - 04 Hz. in comparison with similar indicators in the test with FB ($p < 0.05 - 0.001$). An increase in the length of the stabilogram when testing with closed eyes can be considered as a fact of deterioration of the statokinetic stability of the subjects. The results can be explained from the point of view that the visual sensory system in the vertical position of the body plays a dual role. Firstly, it informs the neural network of statokinetic stability about body oscillations relative to the external environment, and secondly, it evaluates the degree of stationarity of the environment itself [40]. Obviously, the statokinetic stability with CE is regulated by the action of feed-back mechanisms [41]. Posture maintenance under the condition of FB is provided by open-loop control mechanisms, which includes the interaction of higher departments of the central nervous

system, vestibular and visual analyzers, joint-muscle proprioception and other functional systems [42].

Since stabilography is an indicator of changes in several variables, it can be assumed that the role of visual signaling in the regulation of statokinetic stability on an unsteady platform will be different than on a steady one.

The results we obtained while maintaining a posture on an unsteady platform in conditions of preserved visual signaling (the third test) showed a significant increase in the fluctuation of the center of gravity. Preservation of visual control on an unsteady platform reduced the KFR to the value of 46%, against the indicator on a steady platform with FB - 77.6%. The results show that when maintaining the vertical position of the body on an unsteady platform, the statokinetic stability deteriorates compared to a steady platform. It was established that the indicators of the length of the oscillation trajectory of the pressure center and the movement speed of the body mass center on the unsteady platform of the stabilograph in the subjects were statistically significantly higher, and the KFR lower than on the steady platform ($p < 0.05 - 0.001$).

The results obtained above can be explained by the fact that standing on a movable platform worsens statokinetic stability. It is known from the literature that foot receptors are an important source of information about the change in the position of the pressure center [43]. In conditions of unsteady platform, the activity of foot mechanoreceptors decreases, and the activity of body movement increases [32]. Under these conditions, due to the lack of pressure on the platform, the foot does not create compensation for the moment of forces and does not allow obtaining the necessary afferent information about the deviation of the body from the equilibrium support position [44]. Another explanation is related to the fact that the movable platform affected not only the force interaction between the foot and the platform, but also created ambiguous information about the position of the body in space. Under such changed conditions of proprioception, the significance of the afferent flow of information from the visual and vestibular sensory systems and the integrative functions of the higher departments of the central nervous system increased. It may also be plausible that the mechanisms of regulation of statokinetic stability were more stressed on an unsteady platform. The results of statokinetic stability, which we obtained under the condition of FB on an unsteady platform, were probably associated with a greater sensory deficit and less possibility to compensate them from the side of other afferent systems. As already shown above, our results with FB demonstrate that statokinetic stability is impaired on an unsteady platform compared to postural control on a steady platform. The Length, AvgSpeed, Range and wAvgFMA indicators on the unsteady platform with the FB increased, and the KFR decreased, respectively, by 137, 112, 63 and 46% compared to the indicators obtained in the first test.

Therefore, under the condition of maintaining a posture on an unsteady platform with FB, we obtained differences in the participation of mechanisms of regulation of statokinetic stability in comparison with the test on a steady platform of the stabilograph. The above results demonstrate the dependence of statokinetic stability on afferent information from the support surface of the foot.

Thus, according to our results, statokinetic stability on an unsteady platform differs in a number of functional features. First, on a moving platform, the proprioceptive information received in response to a decrease in foot pressure compared to a solid support is distorted. Second, on an unsteady platform, the oscillation rate of the general center of the foot pressure increases that leads to a significant increase in the role of the vestibular and visual sensory systems in posture regulation. Third, it can be assumed that the control of statokinetic stability on an unsteady platform may involve mechanisms connected with higher departments of the central nervous system [32, 45, 46].

It was assumed that some stabilization of posture under conditions of unsteady platform was associated with partial ignoring of signals from the visual system and would be compensated by an increase in the contribution to the regulation mechanisms of other sensory systems, not related to visual information, including proprioception. Our assumption was confirmed by the results of the fourth test. In this test, subjects maintained a posture on an unsteady platform with CE. Under such

conditions of standing on an unsteady platform, in case of exclusion of visual control and altered proprioceptive afferentation from the supporting surface of the foot, the studied parameters of the stabilogram significantly deteriorated. Thus, the KFR indicator in the fourth test decreased by 68%. Such a result was somewhat unexpected for us and therefore, was not easy to interpret. An increase in the length of the stabilogram compared to the FB was found on an unsteady platform with CE, which can be regarded as a feature of the functional state and the predominance of a large number of high-frequency oscillations in the structure of movements. Our results confirmed the validity of the opinion that the regulation of the vertical position of the body under the condition of conducting tests on an unsteady platform with CE was mainly carried out due to an increase in the power of the spectrum of oscillations at high frequencies of 0.4 Hz.

Our research shows that the lack of visual information in standing on a steady and, especially, on an unsteady platform significantly increases the tension of mechanisms of translational control regulation. The results of Table 3 shows that the lack of visual information cannot be fully compensated by other sensory systems. Thus, the lack of visual information on a steady platform caused changes in the reduction of KFR by 34%, and the Length, mm indicator by 95% relative to open eyes. Changes in the indicators of statokinetic stability under the condition of limited visual information also occurred in the indicators of AvgSpeed, mm/s (- 75%), but Range almost did not change (- 4%). These results are consistent with the results of works [47], which showed a significant, but not complete, compensation of postural balance disturbance caused by visual derivation.

We predicted that the visual derivation on an unsteady platform would lead to an even greater increase in body oscillations and a decrease in statokinetic stability than in conditions of FB. Violations in the integration of sensory information become especially important in case of simultaneous visual and proprioceptive deprivation. The results obtained in the fourth test showed that the most significant changes in the tension of the regulation mechanisms for maintaining statokinetic stability occurred in the test with CE on an unsteady support. Stabilography indicators under these conditions decreased the most in relation to the similar characteristics obtained in the conditions of FB on a steady platform. Thus, Table 3 and Fig. 1 show that the indicators of the length of the trajectory of the center of pressure, the speed of movement of the center of mass of the body, Range and KFR deteriorated on the unsteady platform of the stabilograph with CE by 365, 162, 68 and 118%, respectively, compared to the results on a steady platform with FB. Therefore, the limitation of visual and proprioceptor information under the condition of unsteady support creates an additional effect on postural regulation mechanisms. It is plausible that under such conditions, violations of the sensory integration of the higher, central level of control are of particular importance. We note that the functioning of the regulation mechanisms of statokinetic stability in conditions of a lack of visual information on an unsteady platform creates an additional deficit on the part of proprioceptive information, which plays a key role in reducing postural control that is consistent with the results of other authors [47]. Based on our results, we can generalize that proprioceptive afferentation makes much larger corrections to statokinetic stability and integrative processes of regulation than the visual sensory system.

Thus, the indicators of stabilography, which reflect the process of maintaining statokinetic stability under the condition of limited visual and proprioceptive information on steady and unsteady platform, did not change proportionally. Some considerations for understanding the mechanism of regulation are provided by our results and modern studies by other authors, which relate to stabilographic indicators under conditions of FB and CE on a steady and unsteady platform. It has been shown that in conditions of unsteady platform, when the reliability of proprioceptive information coming from foot receptors is reduced and the efficiency of the integration of sensory systems in neural networks of posture regulation is impaired [32], the speed and reliability of muscle reactions decreases [33], the value of the visual sensory system increases significantly [35, 47, 48]. Whereas, according to our results, the non-proportionality of the participation of the two sensory systems in the mechanisms of statokinetic stability has been established. In conditions of unsteady platform and CE,

statokinetic stability is the result of a greater contribution of proprioceptive information to regulation mechanisms than visual afferentation.

The experimental material we received brings us closer to the understanding of the mechanisms of regulation of statokinetic stability under conditions of additional load on postural regulation caused by visual deprivation and unsteady platform. The results we obtained, in part, contradict those researchers who speak in favour of the fact that changes in statokinetic stability under changed conditions of visual afferentation can be explained quite simply. We believe that the obtained results also require further experimental research and generalization.

Conclusions

1. Blocking of visual information significantly worsened statokinetic stability on both steady and unsteady platform of the stabilograph. With the eyes closed, the KFR indicators decreased, and the Length and AvgSpeed characteristics increased statistically significantly.

2. It was established that the limitation of visual afferentation exerted a noticeable influence on the reduction of statokinetic stability in young men, both on steady and unsteady platform. It was proved that changes in KFR on an unsteady platform with closed eyes were statistically significantly higher than on a steady platform with artificial feedback.

3. The availability of visual information makes it possible to significantly improve the statokinetic stability and reduce the tension of the regulatory mechanisms of the statokinetic stability on the unsteady platform of the stabilograph.

4. The lack of visual information makes much smaller corrections in the integrative processes of statokinetic stability regulation than proprioceptive afferentation.

5. The limitation of proprioceptive information makes much greater corrections in the integrative processes of regulation of statokinetic stability than visual afferentation.

6. Simultaneous exclusion of visual afferentation and limitation of proprioceptive information on an unsteady platform with closed eyes significantly impairs statokinetic stability and leads to significant tension of postural regulation mechanisms.

References

1. Brown T. C., McGee A. W. Monocular deprivation during the critical period alters neuronal tuning and the composition of visual circuitry. *PLoS biology*. 2023. 21(4). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002096>
2. Korver A. M., Smith R. J., Van Camp G., Schleiss M. R., Bitner-Glindzicz M. A., Lustig L. R., Usami S. I., Boudewyns A. N. Congenital hearing loss. *Nature reviews. Disease primers*. 2017. 3, 16094. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.94>
3. Melo R. S., Lemos A., Paiva G. S., Ithamar L., Lima M. C., Eickmann S. H., Ferraz K. M., Belian R. B. Vestibular rehabilitation exercises programs to improve the postural control, balance and gait of children with sensorineural hearing loss: A systematic review. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2019. 127, 109650. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.109650>
4. Ferdjallah M., Harris G. F., Smith P., & Wertsch J. J. (2002). Analysis of Postural Control Synergies during Quiet Standing in Healthy Children and Children with Cerebral Palsy. *Clin. Biomech.* 17, 203–210. doi:10.1016/S0268-0033(01)00121-8
5. Liakh Yu., Usova O., Romaniuk A., Melnychuk V., Liakh M., Antypov A. Computer stabilometry in the assessment of the functional state of an individual. *Physical education, sport and health culture in modern society*. 2019. No. 2. P. 66-72. DOI: <https://doi.org/10.29038/2220-7481-2019-02-66-72>
6. Kovalenko Ya., Baloban V. Statodynamic stability of the body of female athletes engaged in rhythmic gymnastics is in the stage of specialized basic training. *Science in Olympic sports*. 2018. No. 4, pp. 70-78. DOI:10.32652/olympic2018
7. Demchuk S.P. Personal development of a junior high school student with deprivation of sensory systems of a special boarding school / S.P. Demchuk // *Slobozhan. science and sport Visn.* - 2015. - No. 2. - P. 66-69.
8. Lisenchuk G. A., Khmelnytska, I. V., Krupenia, S. V., Lytvynenko, O. M., Boretska N. O. Computer systems for motor control in physical education of schoolchildren with hearing deprivation. *Physical education and sports*. 2021. (2), 54-62. DOI: <https://doi.org/10.26661/2663-5925-2020-2-08>

9. Kompaniyets O. A. Professional performance of the flight crew according to posturography indicators. *Ukrainian journal on problems of occupational medicine*. 2008, No. 4, pp. 55–59
10. Matsuda S, Demura S, Uchiyama M. Centre of pressure sway characteristics during static one-legged stance of athletes from different sports. *J Sports Sci*. 2008;26(7):775–779.
11. Pau M, Ibba G, Leban B, Scorcu M. Characterization of static balance abilities in elite soccer players by playing position and age. *Res Sports Med*. 2014;22(4):355–367.
12. Hadjistavropoulis T, Delbaere K, Fitzgerald TD. Reconceptualizing the role of fear of falling and balance confidence in fall risk. *J Aging Health*. 2011;23(1):3–23.
13. Lindmark B, Liljenäs Å, Hellström K. Assessment of minor or moderate balance disorders: A reliability study and comparison with healthy subjects. *Adv Physiother*. 2012;14(1):3–9.
14. Hamzehpour F., Absalan A., Pirasteh E., Sharafi Z., Arbabsarjoo H. Investigating the Effect of Hearing Aid Use on the Balance Status of Children with Severe to Profound Congenital Hearing Loss Using the Pediatric Clinical Test of Sensory Interaction for Balance. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2021. 32(5), 303–307. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0041-1728754>
15. Alioshyna A., Ivanitskyi R., Bychuk O. Development and correction of the motor sphere of children with hearing impairments in the process of physical education. *Modern stage. Youth scientific bulletin of Lesia Ukrayinka East European National University*. Lutsk, 2017. Vol. 27. P. 98–103.
16. Brown T. C., McGee A. W. Monocular deprivation during the critical period alters neuronal tuning and the composition of visual circuitry. *PLoS biology*. 2023. 21(4). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002096>
17. Demirel N. The Impact of Therapeutic Recreational Gymnastic Exercise on Basic Motor Skills of Hearing-Impaired Children Aged Between 6 and 9 Years. *Journal of Education and Training Studies*. 2019. 6 (3), 147-151. DOI: <https://doi.org/10.11114/jets.v6i3.3048>
18. Тертична, Н., Криль, О. Характеристики нейродинамічних функцій головного мозку дитини в умовах сенсорної депривації. *Молодий вчений*. 2022. 7 (107), 39-43. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2022-7-107-9>
19. Asslander L.I., Peterka R.J. Sensory reweighting dynamics in human postural control // *J. Neurophysiol*. 2014. V. 111. Ne 9. P. 1852/
20. Sousa A.S., Silva A., Tavares J. M. Biomechanical and neurophysiological mechanisms related to postural control and efficiency of movement: a review // *So- matosens. Mot. Res*. 2012. V. 29. Ne 4. P. 131.
21. Joseph J., Safavynia S.A., Ting L.H. Contribution of vision to postural behaviors during continuous supportsurface translations // *Exp. Brain Res*. 2014. V. 232. Ne 1. P. 169
22. L Lozova Yu.V. Determination of vestibular function in children with purulent otitis media. *Bulletin of Kharkiv V. N. Karazin National University. "Medicine" series*. 2022; 44: 49-64. doi:10.26565/2313-6693-2022-44-04
23. Horak, F. B. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*. 2006, 35(2), P. 7–11. doi:org/10.1093/ageing/afl077
24. Lindmark B, Liljenäs Å, Hellström K. Assessment of minor or moderate balance disorders: A reliability study and comparison with healthy subjects. *Adv Physiother*. 2012;14(1):3–9.
25. Błaszczyk JW, Beck M, Szczepańska J, Sadowska D, Bacik B, Juras G, Słomka KJ. Directional measures of postural sway as predictors of balance instability and accidental falls. *J Hum Kinet*. 2016;52:75–83.
26. Mancini M, Salarian A, Carlson-Kuhta P, Zampieri C, King L, Chiari L, Horak BF. ISway: a sensitive, valid, and reliable measure of postural control. *J Neuroeng Rehabil*. 2012;9(1):59–66.
27. Clark RA, Bryant AL, Pua Y, McCrory P, Bennell K, Hunt M. Validity, and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance. *Gait Posture*. 2010;31(3):307–310.
28. Bower KJ, McGinley JL, Miller KJ, Clark RA. Instrumented static, and dynamic balance assessment after stroke using Wii Balance Boards: reliability and association with clinical tests. *PLoS One*. 2014;9(12):e115282.
29. Park D, Lee G. Validity and reliability of balance assessment software using the Nintendo Wii Balance Board: usability and validation. *J Neuroeng Rehabil*. 2014;11:99. doi: 10.1186/1743-0003- 11-99.
30. Adam, C., Klissouras, V., Ravazzolo, M., Renson, R., Tuxworth, W., Kemper, HCG., van Mechelen, W., Hlobil, H., Beunen, G., & Levarlet-Joye, H. (1993). *EUROFIT - European test of physical fitness (2nd edition)*. Council of Europe. Committee for the development of sport. (2 ed.) Council of Europe.

31. Çimen Polat, Sezen & Çağın, Musab & Çamlıbel, Turgut & Orhan, Özlem. (2023). The Effect of Fundamental Movement Skills Education with Rhythm on Auditory Reaction and Coordination Parameters. *Annals of Applied Sport Science*. 11. 10.61186/aassjournal.1289.
32. Bezakopylna S.V., Minaev B.P., Bezakopylnyi O.O., Kalenichenko O.V., & Grechukha, S.V. (2023). Age characteristics of statokinetic stability in athletes and non-athletes. *Bulletin of Cherkasy University. Series: Biological Sciences*, 2023, No. 1. P. 11–22. doi: 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-27-34..
33. Paillard, T. (2012). Effects of general and local fatigue on postural control: a review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36 (1), 162-176. Paillard T. Effects of general and local fatigue on postural control: a review. *Neurosci Biobehav Rev*. 2012 Jan;36(1):162-76. doi: 10.1016/j.neubiorev.2011.05.009. Epub 2011 May 27. PMID: 21645543
34. Vuillerme N, Danion F, Marin L, Boyadjian A, Prieur JM, Weise I, Nougier V. The effect of expertise in gymnastics on postural control. *Neurosci Lett*. 2001 May 4;303(2):83-6. doi: 10.1016/s0304-3940(01)01722-0. PMID: 11311498.
35. Redfern MS, Yardley L, Bronstein AM. Visual influences on balance. *J Anxiety Disord*. 2001 Jan-Apr;15(1-2):81-94. doi: 10.1016/s0887-6185(00)00043-8. PMID: 11388359.
36. Bezakopylna, S. (2020). Age-related features of reactivity of the autonomic nervous system while processing information of different modality and intensity of signal presentation. *Lesia Ukrayinka Eastern European National University Scientific Bulletin. Series: Biological Sciences*, (1 (389)), 94-102.
37. Koval Yu.V., Yukhymenko L.I., Chystovska Yu.Yu., Paliychuk O.V. Age-specific features of the formation of statokinetic stability in persons with hearing loss. *Bulletin of the Cherkasy University. Series: Biological Sciences*, 2023, No. 1. P. 11–22. Doi: 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-46-57.
38. Lyzohub V.S., Salivonchuk I.I., Koval Y.V., Dudnyk I.O. Formation of statokinetic stability in ontogenesis. *Bulletin of Cherkasy University. Series: Biological Sciences*, 2023, No. 2. P. 11–22. Doi: 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-2-64-77.
39. Kovalenko Ya, Boloban V., & Zhyrnov O. (2017). Sensorimotor coordination of sportsmen engaged in artistic gymnastics at the stage of specialized basic training. *Theory and methods of physical education and sports*, (4), 27-34.
40. Korobeynikov G.V., Zhyrnov O.V., Korobeinikova L.G., Volsky D.S., Mishchenko V.S., Dudnyk, O.K., Ivashchenko O.O. Neurodynamic functions and statokinetic stability of qualified kickboxers. *Bulletin of the Chernihiv National Pedagogical University. Series: Pedagogical sciences. Physical education and sports*. 2018, No. 154(1), pp. 90–94
41. Biga, L., Dawson, S., Harwell A., Hopkins, R., Kaufmann J., LeMaster, M., Matern, P., Graham K., Quick, D. and Runyeon, J. (2021). *Anatomy and Physiology*. Retrieved from <https://open.oregonstate.edu/aandp/chapter/1-3-homeostasis/>
42. Sorgini F, Calì R, Carrozza MC, Oddo CM. Haptic-assistive technologies for audition and vision sensory disabilities. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2018 May; 13(4): 394-421. DOI: <https://doi.org/10.1080/17483107.2017.1385100>
43. Adkin AL, Campbell AD, Chua R, Carpenter MG. . (2018). The influence of postural threat on the cortical response to unpredictable and predictable postural perturbations. *Neurosci Lett* 435: 120–125, 2008. doi:10.1016/j.neulet.2008.02.018.
44. Wright, W. G., Ivanenko, Y. P., & Gurfinkel, V. S. (2012). Foot anatomy specialization for postural sensation and control. *Journal of neurophysiology*, 107(5), 1513–1521. <https://doi.org/10.1152/jn.00256.2011>
45. Fraizer, E., & Mitra, S. Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual-tasking in upright stance. *Gait and Posture*. 2008, 27(2), P. 271–279. doi: 10.1016/j.gaitpost.2007.04.002
46. Hiraga, C. Y., Garry, M. I., Carson, R. G., Summers, J. J. Dual-task interference: attentional and neuropsychological influences. *Behavioural Brain Research*. 2009, 205(1), P. 291–345 doi:10.1016/j.bbr.2009.07.019
47. Joseph J., Safavynia S.A., Ting L.H. Contribution of vision to postural behaviors during continuous supportsurface translations // *Exp. Brain Res*. 2014. V. 232. Ne 1. P. 169
48. Vaillant J., Vuillerme N., Janvey A. et al. Effect of manipulation of the feet and ankles on postural control in elderly adults// *Brain Res. Bull*. 2008. V. 75. P. 18.

Одержано редакцію: 29.04.2024

Прийнято до публікації: 20.05.2024

УДК 612.015.3:796.01:612.336.3

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-46-52

Oksana Palladina

Національний університет фізичного виховання і спорту України

opalladina@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7133-0072>

Anastasiia Kaliga

Національний університет фізичного виховання і спорту України

anastasiya.kaliga@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7987-0142>

RELATIONSHIP BETWEEN THE GUT MICROBIOTA COMPOSITION AND BODY MASS INDEX

The gut microbiome is a key topic for current research since it is known that intestinal microbiota has a great metabolic potential and contains not only thousands of taxa of various bacteria, but also microbes, viruses, archaea and, most importantly, more than three million genes, which makes it our “second genome”. A wide amount of research proves that the gut microbiome contributes to the health of the host. The function of the human intestinal microbiota involves the absorption of nutrients and the synthesis of vitamins, energy harvesting from the food, immune response and reduction of the inflammatory process. Human gut microbiome also takes part in lipid and glucose metabolism and production of short chain fatty acids that may act as energy substrates. It also takes part in neural and hormonal energy regulation of the body since hormone ghrelin, which is also known as the “hunger hormone” and acts as a stimulus for food intake, fat deposition, and growth hormone secretion, is positively correlated with the genera Bacteroides and Prevotella and negatively correlated with Lactobacillus, Bifidobacterium, Blautia coccoides, and Eubacterium rectale. The short-chain fatty acids stimulate the secretion of glucagon-like peptide-1 (GLP 1). GLP-1, in turn, stimulates the secretion of insulin and reduces appetite. It is also known that pre-, pro- and synbiotics as well as fecal transplantation from normal weight individuals to obese individuals may contribute to the obesity treatment. Still the precise mechanisms of gut microbiome regulation for further weight correction have not yet been established. The purpose of our study was to establish the relationship between the body mass index and the gut microbial composition in adults. Thus we conducted a literature search with inclusion criteria of studies on adults only, the mandatory presence of at least two groups - one with BMI < 25 (n>15), the other ≥ 25 (n>15).

Most results found no differences in alpha diversity between groups. It has been shown that obesity can affect beta diversity of microbes, as there are changes in bacterial taxa, as well as in the number of microorganisms. In individuals with excess body weight or obesity the Firmicutes/Bacteroidetes ratio is higher with more abundant Firmicutes, while Bacteroidetes are more abundant in normal weight individuals. Firmicutes are believed to be efficient in harvesting energy and absorbing nutrients, making food as accessible as possible and thus increasing the availability of calories consumed. People with a normal weight are characterized by bacteria Flavonifractor plautii, Faecalibacterium prausnitzii, Bacteroides faecichinchillae, Bacteroides thetaiotaomicron, Blautia wexlerae, Clostridium bolteae, Flavonifractor plauti, Lachnospiraceae that are naturally found in people with a healthy profile. The amount of Dorea, Blautia, Coprococcus, Subdoligranulum, Eubacterium ventriosum, Ruminococcus bromii, Ruminococcus obeum, Streptococcus, Dialister was higher in obese or overweight individuals. The difference in the microbial composition may be due to the gender. Further studies with a larger number of samples and observation of weight changes in dynamics, taking into account dietary interventions, are needed to understand the mechanism of the effect of bacteria on body mass index.

Key words. Gut microbiome and obesity, microbiota and weight, BMI and microbiome, microbiome in disease, microbiota in obesity

Analysis of recent research and publications. The human gut microbiota has a great metabolic potential and contains not only thousands of taxa of various bacteria, but also microbes, viruses, archaea and, most importantly, more than three million genes [1-3]. Thus, the number of

microbiota cells is approximately 10 times greater than the number of human cells, which makes the microbiome a "second genome" [4]. It is known that the microbial composition of a person is formed at an early age and varies greatly in quality and quantity, as it is influenced by many factors, such as the birth delivery method, diet, environment, antibiotics [5]. Normally, the components of gut microbiota coexist in symbiotic and antagonistic relationships, ensuring the protective functions of the host's organism. It was shown that the microbial composition of the large intestine can affect health [6]. Dietary interventions have a significant impact on the microbial composition, which can both strengthen the body's protective functions and weaken them [7]. The microbiota of the gastrointestinal tract contributes to the absorption of nutrients and the vitamins synthesis [8-10]. In addition, it is known about the correlation between the intestinal microbiota and the body's immune response, as well as the reduction of inflammatory processes [11-13].

The gut microbiome is involved in the process of lipid and glucose metabolism, and can also influence body weight by partially absorbing the amount of energy that an individual receives with food, so the microbial composition of the gut is exceptional for maintaining a healthy weight [14]. Moreover the gut microbial composition affects the athletic performance and endurance capabilities of athletes. Also the human gut microbiome is able to produce short-chain fatty acids, namely acetate, butyrate, propionate [15-17], which are known to be energy substrates necessary in endurance sports [18, 19].

What is more important, the results of numerous studies show that the use of pro-, pre- and synbiotics can have a positive effect on body weight loss, reducing such anthropometric indicators as body mass index, body weight and waist circumference [20-22]. In addition, the possibilities of fecal transplantation from individuals with a BMI within the normal range to obese individuals is being actively researched as a new method for treatment of obesity [23,24-26].

Despite the fact that the human gut microbiome is a key vector of modern research due to its connection with the body's protective functions, relatively few scientific works are devoted to the effect of the microbiome on the body mass index. Moreover, the precise mechanisms of gut microbiome regulation for further weight correction have not yet been established.

The purpose of our study is to establish the relationship between the body mass index and the gut microbial composition in adults.

Methods. The literature search was conducted using the keywords "gut microbiome", "intestinal microbiome", "gut microbiota and weight", "microbiota and obesity", "influence of the microbiome on body mass index" in the following databases: Medline (PubMed), Scopus (Elsevier), Google Scholar, Plos One. Data analysis was carried out in accordance with recommendations for conducting meta-analyses [27]. The criteria for inclusion in the analysis were studies on adults only, the mandatory presence of at least two groups - one with BMI < 25 (n>15), the other ≥ 25 (n>15). Thus, after excluding studies that do not meet the specified criteria, we selected 6 scientific works for analysis (Table 1).

Introduction. The human brain can influence energy balance through neural and hormonal signals through a special channel called "the gut-brain axis". Such signals mainly come from the gastrointestinal tract [28]. Moreover, the results of scientific works confirm that the gut microbial composition takes a direct part in such signals. The hormone ghrelin, which is also known as the "hunger hormone" and acts as a stimulus for food intake, fat deposition, and growth hormone secretion, is positively correlated with the genera *Bacteroides* and *Prevotella* and negatively correlated with *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Blautia coccoides*, and *Eubacterium rectale* [29,30]. The intestinal microbiota is also a producer of short-chain fatty acids, mainly acetate, butyrate and propionate, produced by the cells of the intestinal mucosa, which stimulate the secretion of glucagon-like peptide-1 (GLP 1). GLP-1, in turn, stimulates the secretion of insulin and reduces appetite. This process includes secondary bile acids, which are formed during the fermentation of bile acids by the microbiota and participate in the use of energy and the synthesis of GLP-1 [31-33].

Thus, we can state, and our statement has also been proved by the results of numerous researches, that the intestinal microbiota composition in individuals with a body mass index within the

normal range and people with excess weight or obesity differs both quantitatively and qualitatively [34]. The first such studies were conducted on mice, and it was shown that animals with normal weight had a greater microbiome diversity, with greater number of *Bacteroidetes* compared to *Firmicutes* [35].

Intestinal microbiota and the link to BMI. Companys et al. in their study compared obese/overweight people to those with a normal BMI. It was found that the ratio of *Firmicutes* to *Bacteroidetes* was higher in the first group. *Firmicutes* are believed to be efficient in harvesting energy and absorbing nutrients, making food as available as possible and thus increasing the availability of calories consumed. It was also shown that the first group had a greater diversity of the microbiome, while the second was characterized by a greater abundance (ie, a greater number of bacteria). In the first group, bacteria that are producers of short-chain fatty acids, namely *Faecalibacterium prausnitzii*, *Lachnospiraceae*, especially *Roseburia* and *Lachnospira*, which are significantly more prevalent in people with normal body weight, were less represented. Interestingly, bacteria which belong to the phylum *Firmicutes* in overweight and obese individuals were mainly substituted by others also belonging to *Firmicutes*, namely *Dorea*, *Blautia*, *Coprococcus*, *Subdoligranulum*, *Collinsella aerofaciens* and *Bifidobacterium*, which are producers of propionate and acetate, also prevailed in the first group. Acetate, in turn, stimulates the synthesis of fatty acids [34]. In a study of a Japanese population, Kasai et al. concluded that the gut microbial composition has a correlation with both obesity and normal body weight. In this study, patterns of positive correlation with various bacteria were revealed. In the group of obese individuals, *Blautia hydrogenotrophica*, *Coprococcus catus*, *Eubacterium ventriosum*, *Ruminococcus bromii*, *Ruminococcus obeum* prevailed, while the gut microbiome of normal weight individuals was characterized by *Bacteroides faecichinchillae*, *Bacteroides thetaiotaomicron*, *Blautia wexlerae*, *Clostridium bolteae*, *Flavonifractor plautii*. Obese individuals showed a greater diversity of microbial composition, a higher ratio of *Firmicutes/Bacteroides*, but less *Bacteroides*, which was also confirmed by other researches [36].

Gallè et al. have found that the genus *Streptococcus*, as well as *Dialister* and *Dorea*, prevailed in obese individuals. Interestingly, *Dialister* and *Dorea* are also more abundant in individuals with a low activity level. No difference was found in the biodiversity and *Firmicutes/Bacteroides* ratio, but this finding is probably due to the the result of a small sample [37].

Borgo et al., have observed that obesity and excess body weight may be predicted by the presence of certain bacterial taxa. There are special bacteria markers, especially those producing short-chain fatty acids (i.e., butyrate, propionate etc), the presence of which can be considered as an indicator of reduced risks of inflammation. The authors declared *Flavonifractor plautii* and *Faecalibacterium prausnitzii* to be such indicators, which according to the results of the study significantly prevailed in people with normal body weight and are less represented in overweight or obese people [38].

Assmann et al., in a recent study also found no differences in the alpha-diversity of the gut microbiome between a group of normal weight individuals and another group with overweight or obese participants. Interestingly, the differences in beta-diversity were found. These results confirm the possible influence of obesity on changes in taxa and in the number of bacteria [39].

Hato et al. conducted research and investigated the relationship between the gut microbiome, body mass index and gender. The authors found no differences in alpha diversity between men and women which correlates with previous research. However, when dividing the participants into three groups according to body mass index (13 men and 13 women with BMI < 30; 13 men and 10 women with BMI ≥ 30 - ≤ 33; and 13 men and 13 women with BMI > 33) it was shown that men in the second group had a higher ratio of *Firmicutes/Bacteroidetes*, but in the third group this ratio was lower in men than in women. Interestingly, the level of *Bacteroidetes* remained stable in women with higher body mass index, while in men this level decreased with increasing BMI. Also, in the first group, *Bifidobacterium adolescentis*, *Oxalobacter formigenes*, *Eubacterium bifforme* prevailed in men of the first group, while the level of these bacteria was lower in women. No such differences were found in the second and third groups [40].

Table 1.

Link between intestinal microbiota and body mass index

	Authors, year of publication	Participants	Results	Source
1	Companys et al., 2021	First group of individuals with BMI* ≥ 25 i ≤ 35 (n=96). Second group with BMI < 25 (n=32)	The first group had a higher ratio of <i>Firmicutes/Bacteroidetes</i> , and also contained <i>Dorea</i> , <i>Blautia</i> , <i>Coprococcus</i> , <i>Subdoligranulum</i> . Second group had a higher number of <i>Faecalibacterium prausnitzii</i> , <i>Lachnospiraceae</i> , especially <i>Roseburia i Lachnospira</i> .	34
2	Kasai et.al, 2015	First group of individuals with BMI < 20 (n=23). Second group with BMI ≥ 25 (n=23)	Second group had a greater diversity of bacteria, a higher ratio of <i>Firmicutes/Bacteroidetes</i> and less presented <i>Bacteroidetes</i> , <i>Blautia hydrogenotrophica</i> , <i>Coprococcus catus</i> , <i>Eubacterium ventriosum</i> , <i>Ruminococcus bromii</i> , <i>Ruminococcus obeum</i> were present. The first group was dominated by <i>Bacteroides faecichillae</i> , <i>Bacteroides thetaiotaomicron</i> , <i>Blautia wexlerae</i> , <i>Clostridium bolteae</i> , <i>Flavonifractor plauti</i> .	36
3	Gallè et al., 2020	Students (n=140), the first group with BMI < 25 (n=113), second group with BMI ≥ 25 (n=27)	The genus <i>Streptococcus</i> , as well as <i>Dialister</i> and <i>Dorea</i> , predominated in obese individuals. No difference was found in biodiversity.	37
4	Borgo et al., 2018	First group of individuals with BMI < 25 (n=20). Second group with BMI ≥ 30 (n=20)	<i>Flavonifractor plautii</i> and <i>Faecalibacterium prausnitzii</i> were more abundant in the first group and less represented in the second group.	38
5	Assmann et al., 2020	First group of individuals with BMI ≥ 30 - ≤ 40 ; (n=78). Second group with BMI ≤ 25 (n=25)	No differences were found in alpha-diversity, but distinct features were found in beta-diversity due to the effect of obesity on changes in taxa and bacterial abundance	39
6	Haro et al., 2016	75 individuals divided into 3 groups according to the BMI: 13 men and 13 women with BMI < 30 ; 13 men and 10 women with BMI ≥ 30 - ≤ 33 ; and 13 men and 13 women with BMI > 33	Men in the second group had a higher ratio of <i>Firmicutes/Bacteroidetes</i> , but in the third group this ratio was lower in men than in women. The level of <i>Bacteroidetes</i> remained unchanged in women with increasing BMI, while in men this level decreased with increasing BMI. In the first group, <i>Bifidobacterium adolescentis</i> , <i>Oxalobacter formigenes</i> , and <i>Eubacterium bifforme</i> prevailed in men of the first group, while the level of these bacteria was lower in women. No such differences were found in the second and third groups.	40

*BMI - body mass index calculated by the formula::

$$\text{BMI} = \text{body mass (kg)}/\text{height (m)}^2$$

Conclusions. To the best of our knowledge, the gut microbial composition may have positive correlation with the body mass index. Even though most scientific works have not found differences in alpha diversity, it has been shown that obesity can affect beta diversity of microbes, as there are changes in bacterial taxa, as well as in the number of microorganisms. In addition, in people with excess body weight or obesity, the ratio of *Firmicutes* to *Bacteroidetes* is higher and *Firmicutes* predominate, while *Bacteroidetes* are considered to be the characteristic feature of the gut microbial composition of people with a normal weight. The increased number of *Firmicutes* in overweight and obese individuals is quite logical since *Firmicutes* are believed to be efficient in harvesting energy and absorbing nutrients, making food as accessible as possible and thus increasing the availability of calories consumed. People with a normal weight are characterized by bacteria that are naturally found in people with a healthy profile, namely *Flavonifractor plautii*, *Faecalibacterium prausnitzii*, *Bacteroides faecichinchillae*, *Bacteroides thetaiotaomicron*, *Blautia wexlerae*, *Clostridium bolteae*, *Flavonifractor plauti*, *Lachnospiraceae*, *Dorea*, *Blautia*, *Coprococcus*, *Subdoligranulum*, *Eubacterium ventriosum*, *Ruminococcus bromii*, *Ruminococcus obeum*, *Streptococcus*, *Dialister* predominate in obese or overweight individuals. It was also found that the difference in the microbial composition may be due to the gender of the individuals. Further studies with a larger number of samples and observation of weight changes in dynamics, taking into account dietary interventions, are needed to understand the mechanism of the effect of bacteria on body mass index.

References

1. Fontana F, Longhi G, Tarracchini C, Mancabelli L, Lugli GA, Alessandri G, Turrone F, Milani C, Ventura M. The human gut microbiome of athletes: metagenomic and metabolic insights. *Microbiome*. 2023 Feb 14;11(1):27. doi: 10.1186/s40168-023-01470-9
2. Mohr AE, Jäger R, Carpenter KC, Kerksick CM, Purpura M, Townsend JR, West NP, Black K, Gleeson M, Pyne DB, Wells SD, Arent SM, Kreider RB, Campbell BI, Bannock L, Scheiman J, Wissent CJ, Pane M, Kalman DS, Pugh JN, Ortega-Santos CP, Ter Haar JA, Arciero PJ, Antonio J. The athletic gut microbiota. *J Int Soc Sports Nutr*. 2020 May 12;17(1):24. doi: 10.1186/s12970-020-00353-w
3. Hughes RL, Holscher HD. Fueling Gut Microbes: A Review of the Interaction between Diet, Exercise, and the Gut Microbiota in Athletes. *Adv Nutr*. 2021 Dec 1;12(6):2190-2215. doi: 10.1093/advances/nmab077
4. Min L, Ablitip A, Wang R, Luciana T, Wei M, Ma X. Effects of Exercise on Gut Microbiota of Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. 2024 Apr 5;16(7):1070. doi: 10.3390/nu16071070
5. Walker RW, Clemente JC, Peter I, Loos RJF. The prenatal gut microbiome: are we colonized with bacteria in utero? *Pediatr Obes*. 2017 Aug;12 Suppl 1(Suppl 1):3-17. doi: 10.1111/ijpo
6. Cheng HY, Ning MX, Chen DK, Ma WT. Interactions Between the Gut Microbiota and the Host Innate Immune Response Against Pathogens. *Front Immunol*. 2019 Mar 29;10:607. doi: 10.3389/fimmu.2019.00607
7. Furber MJW, Young GR, Holt GS, Pyle S, Davison G, Roberts MG, Roberts JD, Howatson G, Smith DL. Gut Microbial Stability is Associated with Greater Endurance Performance in Athletes Undertaking Dietary Periodization. *mSystems*. 2022 Jun 28;7(3):e0012922. doi: 10.1128/msystems.00129-22
8. Bielik V, Kolisek M. Bioaccessibility and Bioavailability of Minerals in Relation to a Healthy Gut Microbiome. *Int J Mol Sci*. 2021 Jun 24;22(13):6803. doi: 10.3390/ijms22136803
9. Vonderheid SC, Tussing-Humphreys L, Park C, Pauls H, OjiNjideka Hemphill N, LaBomascus B, McLeod A, Koenig MD. A Systematic Review and Meta-Analysis on the Effects of Probiotic Species on Iron Absorption and Iron Status. *Nutrients*. 2019 Dec 3;11(12):2938. doi: 10.3390/nu11122938
10. Barone M, D'Amico F, Brigidi P, Turrone S. Gut microbiome-micronutrient interaction: The key to controlling the bioavailability of minerals and vitamins? *Biofactors*. 2022 Mar;48(2):307-314. doi: 10.1002/biof.1835
11. Dominguez-Bello MG, Godoy-Vitorino F, Knight R, Blaser MJ. Role of the microbiome in human development. *Gut*. 2019 Jun;68(6):1108-1114. doi: 10.1136/gutjnl-2018-317503
12. Manos J. The human microbiome in disease and pathology. *APMIS*. 2022 Dec;130(12):690-705. doi: 10.1111/apm.13225

13. Rooks MG, Garrett WS. Gut microbiota, metabolites and host immunity. *Nat Rev Immunol*. 2016 May 27;16(6):341-52. doi: 10.1038/nri.2016.42
14. Shah S, Mu C, Moossavi S, Shen-Tu G, Schlicht K, Rohmann N, Geisler C, Laudes M, Franke A, Züllig T, Köfeler H, Shearer J. Physical activity-induced alterations of the gut microbiota are BMI dependent. *FASEB J*. 2023 Apr;37(4):e22882. doi: 10.1096/fj.202201571R
15. Palladina O.L. Features of the gut microbiota of athletes and dietary possibilities of its correction. Adaptation and psychophysiological problems of physical culture and sports : I Intern. Scientific and Practical Conf., Kyiv-Cherkasy, 2023 Dec 7–8. P. 95–96. URL: https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/tezy_2023_1.pdf.
16. Baldanzi G, Sayols-Baixeras S, Ekblom-Bak E, Ekblom Ö, Dekkers KF, Hammar U, Nguyen D, Ahmad S, Ericson U, Arvidsson D, Börjesson M, Johanson PJ, Smith JG, Bergström G, Lind L, Engström G, Årnlöv J, Kennedy B, Orho-Melander M, Fall T. Accelerometer-based physical activity is associated with the gut microbiota in 8416 individuals in SCAPIS. *EBioMedicine*. 2024 Feb;100:104989. doi: 10.1016/j.ebiom.2024.104989
17. Scheiman J, Luber JM, Chavkin TA, MacDonald T, Tung A, Pham LD, Wibowo MC, Wurth RC, Punthambaker S, Tierney BT, Yang Z, Hattab MW, Avila-Pacheco J, Clish CB, Lessard S, Church GM, Kostic AD. Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism. *Nat Med*. 2019 Jul;25(7):1104-1109. doi: 10.1038/s41591-019-0485-4
18. Okamoto T, Morino K, Ugi S, Nakagawa F, Lemecha M, Ida S, Ohashi N, Sato D, Fujita Y, Maegawa H. Microbiome potentiates endurance exercise through intestinal acetate production. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2019 May 1;316(5):E956-E966. doi: 10.1152/ajpendo.00510.2018
19. Bongiovanni T, Yin MOL, Heaney LM. The Athlete and Gut Microbiome: Short-chain Fatty Acids as Potential Ergogenic Aids for Exercise and Training. *Int J Sports Med*. 2021 Dec;42(13):1143-1158. doi: 10.1055/a-1524-2095
20. Rasaei N, Heidari M, Esmaeili F, Khosravi S, Baeeri M, Tabatabaei-Malazy O, Emamgholipour S. The effects of prebiotic, probiotic or synbiotic supplementation on overweight/obesity indicators: an umbrella review of the trials' meta-analyses. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2024 Mar 20;15:1277921. doi: 10.3389/fendo.2024.1277921
21. Cerdó T, García-Santos JA, G Bermúdez M, Campoy C. The Role of Probiotics and Prebiotics in the Prevention and Treatment of Obesity. *Nutrients*. 2019 Mar 15;11(3):635. doi: 10.3390/nu11030635
22. Green M, Arora K, Prakash S. Microbial Medicine: Prebiotic and Probiotic Functional Foods to Target Obesity and Metabolic Syndrome. *Int J Mol Sci*. 2020 Apr 21;21(8):2890. doi: 10.3390/ijms21082890
23. Min Y., Ma X., Sankaran K., Ru Y., et al. Sex-specific association between gut microbiome and fat distribution. *Nat Commun*. 2019 Jun 3;10(1):2408. doi: 10.1038/s41467-019-10440-5
24. Napolitano M, Covasa M. Microbiota Transplant in the Treatment of Obesity and Diabetes: Current and Future Perspectives. *Front Microbiol*. 2020 Nov 12;11:590370. doi: 10.3389/fmicb.2020.590370
25. Hu D, Zhao J, Zhang H, Wang G, Gu Z. Fecal Microbiota Transplantation for Weight and Glycemic Control of Obesity as Well as the Associated Metabolic Diseases: Meta-Analysis and Comprehensive Assessment. *Life (Basel)*. 2023 Jun 30;13(7):1488. doi: 10.3390/life13071488
26. Leong KSW, Jayasinghe TN, Wilson BC, Derraik JGB, Albert BB, Chiavaroli V, Svirskis DM, Beck KL, Conlon CA, Jiang Y, Schierding W, Vatanen T, Holland DJ, O'Sullivan JM, Cutfield WS. Effects of Fecal Microbiome Transfer in Adolescents With Obesity: The Gut Bugs Randomized Controlled Trial. *JAMA Netw Open*. 2020 Dec 1;3(12):e2030415. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.30415
27. Forero DA, Lopez-Leon S, González-Giraldo Y, Bagos PG. Ten simple rules for carrying out and writing meta-analyses. *PLoS Comput Biol*. 2019 May 16;15(5):e1006922. doi: 10.1371/journal.pcbi.1006922
28. Rutsch A, Kantsjö JB, Ronchi F. The Gut-Brain Axis: How Microbiota and Host Inflammation Influence Brain Physiology and Pathology. *Front Immunol*. 2020 Dec 10;11:604179. doi: 10.3389/fimmu.2020.604179
29. Komodromou I, Andreou E, Vlahoyiannis A, Christofidou M, Felekkis K, Pieri M, Giannaki CD. Exploring the Dynamic Relationship between the Gut Microbiome and Body Composition across the Human Lifespan: A Systematic Review. *Nutrients*. 2024 Feb 26;16(5):660. doi: 10.3390/nu16050660
30. Ibrahim Abdalla MM. Ghrelin - Physiological Functions and Regulation. *Eur Endocrinol*. 2015 Aug;11(2):90-95. doi: 10.17925/EE.2015.11.02.90

31. Most J., Goossens G. H., Reijnders D., et al. Gut microbiota composition strongly correlates to peripheral insulin sensitivity in obese men but not in women. *Benef Microbes*. 2017 Aug 24;8(4):557–562. doi: 10.3920/BM2016.0189
32. Leeuwendaal NK, Cryan JF, Schellekens H. Gut peptides and the microbiome: focus on ghrelin. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes*. 2021 Apr 1;28(2):243-252. doi: 10.1097/MED.0000000000000616
33. Zeng Y, Wu Y, Zhang Q, Xiao X. Crosstalk between glucagon-like peptide 1 and gut microbiota in metabolic diseases. *mBio*. 2024 Jan 16;15(1):e0203223. doi: 10.1128/mbio.02032-23
34. Companys J, Gosalbes MJ, Pla-Pagà L, Calderón-Pérez L, Llauro E, Pedret A, Valls RM, Jiménez-Hernández N, Sandoval-Ramírez BA, Del Bas JM, Caimari A, Rubió L, Solà R. Gut Microbiota Profile and Its Association with Clinical Variables and Dietary Intake in Overweight/Obese and Lean Subjects: A Cross-Sectional Study. *Nutrients*. 2021 Jun 13;13(6):2032. doi: 10.3390/nu13062032
35. Turnbaugh PJ, Hamady M, Yatsunenko T, Cantarel BL, Duncan A, Ley RE, Sogin ML, Jones WJ, Roe BA, Affourtit JP, Egholm M, Henrissat B, Heath AC, Knight R, Gordon JI. A core gut microbiome in obese and lean twins. *Nature*. 2009 Jan 22;457(7228):480-4. doi: 10.1038/nature07540
36. Kasai C, Sugimoto K, Moritani I, Tanaka J, Oya Y, Inoue H, Tameda M, Shiraki K, Ito M, Takei Y, Takase K. Comparison of the gut microbiota composition between obese and non-obese individuals in a Japanese population, as analyzed by terminal restriction fragment length polymorphism and next-generation sequencing. *BMC Gastroenterol*. 2015 Aug 11;15:100. doi: 10.1186/s12876-015-0330-2
37. Gallè F, Valeriani F, Cattaruzza MS, Gianfranceschi G, Liguori R, Antinozzi M, Mederer B, Liguori G, Romano Spica V. Mediterranean Diet, Physical Activity and Gut Microbiome Composition: A Cross-Sectional Study among Healthy Young Italian Adults. *Nutrients*. 2020 Jul 21;12(7):2164. doi: 10.3390/nu12072164
38. Borgo F, Garbossa S, Riva A, Severgnini M, Luigiano C, Benetti A, Pontiroli AE, Morace G, Borghi E. Body Mass Index and Sex Affect Diverse Microbial Niches within the Gut. *Front Microbiol*. 2018 Feb 14;9:213. doi: 10.3389/fmicb.2018.00213
39. Assmann TS, Cuevas-Sierra A, Riezu-Boj JI, Milagro FI, Martínez JA. Comprehensive Analysis Reveals Novel Interactions between Circulating MicroRNAs and Gut Microbiota Composition in Human Obesity. *Int J Mol Sci*. 2020 Dec 14;21(24):9509. doi: 10.3390/ijms21249509
40. Haro C, Rangel-Zúñiga OA, Alcalá-Díaz JF, Gómez-Delgado F, Pérez-Martínez P, Delgado-Lista J, Quintana-Navarro GM, Landa BB, Navas-Cortés JA, Tena-Sempere M, Clemente JC, López-Miranda J, Pérez-Jiménez F, Camargo A. Intestinal Microbiota Is Influenced by Gender and Body Mass Index. *PLoS One*. 2016 May 26;11(5):e0154090. doi: 10.1371/journal.pone.0154090

Одержано редакцією: 08.05.2024

Прийнято до публікації: 27.05.2024

УДК 579:2

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-53-62

Світлана Віталіївна Бабак

Національний університет фізичного виховання і спорту України

s.babak.s.1234@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6985-1394>**Катерина Сергіївна Малько**

Національний університет фізичного виховання і спорту України

malkoshak@gmail.com

МІКРОБІОМ ТОВСТОЇ КИШКИ ПРИ РІЗНИХ ВИДАХ ХАРЧУВАННЯ

Мета роботи – вивчити мікробом товстої кишки за аналізами калу при різних видах харчування. Методи досліджень – мета-аналіз наукового матеріалу з наукових баз інтернет-джерел; проведення дослідження аналізу калу за результатами ПЛР-тесту «МІКРОБІОМ/МЕТАБОЛІЗМ» у осіб, які практикували різні види харчування, а також при голодуванні.

*У нашому дослідженні виявлено, що перехід від всеїдності до вегетаріанського раціону викликає збільшення, а перехід після цього на сировідіння – до нормалізації загальної маси мікробіоти. Вегетаріанська та сировідна їжа сприяють заселенню мікробіому кишечника корисною бактерією *Akkermansia muciniphila*. На вегетаріанстві кількість бактерій *Prevotella* spp. збільшується, але залишається в межах норми, що вказує на вживання продуктів з вуглеводами та харчовими волокнами. Перехід на сировідіння кількість цих бактерій не змінює. Бактерії *Methanobrevibacter smithii* були відсутніми при всеїдінні та при вегетаріанстві, а під час сировідіння з'являються, що можна пояснити тим, що виникає необхідність утилізувати водень, який є побічним продуктом бродіння.*

*При переході на вегетаріанство та на сировідіння достовірно зростає кількість корисних бактерій родів – *Lactobacillus* spp., *Bifidobacterium* spp. та *Eubacterium rectale*. Голодування (60 годин) призводить до зменшення загальної бактеріальної маси. Кількість корисних бактерій: *Lactobacillus* spp. знизилась до нижньої межі норми; *Eubacterium rectale* (продукують бутират) зменшилась у 1000 разів і сягнула нижньої межі норми; *Bacteroides* spp. збільшилась у 12,5 разів, порівняно із всеїдінням. Вид харчування впливає на склад мікробіому товстої кишки.*

Ключові слова: мікробом кишечника, товста кишка, види харчування, всеїдіння, вегетаріанство, сировідіння, голодування, бактеріальна маса.

Постановка проблеми. Травна система людського організму є досить складним утворенням, в якому значне місце належить мікробіоті, що впливає, як на функціонування травної системи, так і на організм в цілому. Мікробіом – це досить різноманітне угруповання різних живих організмів: бактерій, архей, грибів, найпростіших і вірусів (до 39 трильйонів, за деякими даними – в товстій кишці – 38 квінтільйонів) [1]. Найбільшим за видовим різноманіттям є мікробом кишечника [2, 3].

В ХХІ ст. в біомедичній науці суттєво зростає кількість наукових досліджень, присвячених вивченню складу, функціонуванню мікробіоти, а також – зв'язків між мікробіомом кишечника та господарем [4, 5].

Мікробіом у різних людей є досить індивідуальним. Мікробіом складається як з корисних, так і патогенних мікроорганізмів. За певних умов деякі види корисних бактерій здатні ставати шкідливими, їхня кількість різко зростає, або ці бактерії потрапляють в інше місце організму. Корисні бактерії здатні виробляти білки, подібні до гормонів голоду та насичення, беруть участь у перетравленні та поглинанні поживних речовин, протидіють шкідливим бактеріям. Є дані наукових досліджень про те, що бактерії керують поведінкою людини, її харчовими потребами і перевагами [1, 2].

Дослідження мікробіому людини, зокрема, мікробіому кишечника людини, досить далекі від завершення, тому тема є надзвичайно актуальною. Мало вивченими є питання, які стосуються особливостей мікробіому товстої кишки при різних видах харчування, а тим паче під час неїдіння – голодування.

Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри медико-біологічних дисциплін Національного університету фізичного виховання і спорту України «Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (№ державної реєстрації 012U108187).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нові наукові дослідження мікробіому ссавців, у тому числі, людини показали, що мікробіом бере участь у перебігу фізіологічних процесів, життєво важливих для здоров'я господаря, що включає гомеостаз, метаболізм, адекватне функціонування епітелію кишок, імунологічну активність і нейроповедінковий розвиток [6]. Як виявилось, мікробний геном надає метаболічні можливості, що перевищують здатність організму господаря, тому мікробіом кишок розглядають як активного учасника фізіології господаря [7]. Зміни в шлунково-кишковому мікробіомі провокують захворювання у людей і тварин, такі, як: запальні захворювання кишечника, астма, ожиріння, цукровий діабет, метаболічний синдром, серцево-судинні захворювання, імуноопосередковані стани та захворювання нервової системи, у тому числі, аутизм [8, 9, 10]. Якісний та кількісний склад мікробіому, що закладається з дитинства має пролонгований вплив на майбутнє здоров'я людини [11, 12, 13].

Мікробіом поширений в організмі нерівномірно. Розрізняють мікробіом шкіри, порожнини рота, дихальних шляхів, уrogenітального тракту та кишечника. Кожен такий мікробіом характеризується своєю топографією і видовим складом, кількістю представників різних видів. Найбільший мікробіом – це мікробіом кишечника [8].

Мікробіом кишечника здійснює важливі функції: підвищує фагоцитарну активність макрофагів, лейкоцитів, стимулює синтез IgA; забезпечує порожнинне травлення, посилює перистальтику кишок; стимулює активність травних ферментів; продукує гормоноподібні речовини; нормалізує стан слизової оболонки кишечника; бере участь в обміні багатьох речовин; синтезує різні вітаміни: групи B, K та ін.; виявляє антимулагенну і антиканцерогенну дію [14, 15, 16].

Дослідження мікробіому кишечника активно проводяться останніми роками. Зроблено цілу низку відкриттів. Так, вчені виявили багато нових видів бактерій у мікробіомі тонкої кишки, товстої кишки та калу [17, 18].

Вчені зазначають, що дієта має значний вплив на склад та функцію мікробіому товстої кишки. Наприклад, вживання різноманітних волокон та пребіотиків сприяє росту корисних бактерій, тоді як дієта, багата на жири та цукри, може сприяти зростанню шкідливих бактерій.

Науковці заявляють, що зміни у складі мікробіома калу можуть вказувати на наявність раку кишечника або реагувати на певні ліки [17, 19].

Мікробіом товстої кишки може мати вплив на вагітність та розвиток плоду [20]. Мікробіом товстої кишки має вікові відмінності.

Деякі бактерії є корисними для запобігання запальних захворювань. Зміни в складі мікробіому можуть посилювати ризики розвитку запальних захворювань кишечника, таких як хронічний коліт та хвороба Крона. Здоровий мікробіом кишечника може сприяти довголіттю [21].

Вплив виду харчування на мікробіом людини є досить цікавим, але мало вивченим питанням. Є окремі наукові роботи, які його висвітлюють лише певною мірою. Аналіз наукової літератури з цього питання показує, що вид харчування за їжею має великий вплив на склад та функції мікробіому. Різні дієти, такі як вегетаріанська, вуглеводна або білкова, можуть впливати на різноманітність бактерій у мікробіомі. Споживання м'яса може впливати на склад і різноманітність мікробіому кишечника. Деякі дослідження показують,

що споживання м'яса може змінити склад мікробіому тонкої та товстої кишок, зокрема збільшити кількість бактерій, які метаболізують жири. Показано, що споживання різного м'яса може вплинути на різні види бактерій. Так, споживання червоного м'яса може збільшити кількість бактерій роду *Bifidobacteria*, а також може змінити вміст корисних бактерій, таких як *Bifidobacterium* та *Lactobacillus*. В той же час вплив споживання м'яса на мікробіом кишок може залежати також від способу приготування [22].

Є дослідження, які показують відмінності у мікробіомі кишок вегетаріанців та м'ясоїдів: у вегетаріанців може бути більша різноманітність бактерій у кишечнику та інших мікроорганізмах.

Вегетаріанці мають більшу кількість бактерій, які виробляють бутират – коротколанцюгову жирну кислоту, яка є важливою для здоров'я кишечника.

Вчені досліджували також вплив кофеїну на метаболізм бактерій у кишечнику. Показано, що ця речовина змінює функції бактерій та продукцію метаболітів. Кофеїн може впливати на проникність стінки кишок, що дозволяє речовинам та мікроорганізмам проникати крізь кишкову бар'єрну функцію.

Є окремі наукові дослідження, що вивчали вплив голодування на мікробом кишечника. Голодування – це стан, коли людина тимчасово припиняє споживання їжі, під час чого організм переходить на резервні джерела енергії і сильно розкладає внутрішні запаси, такі як жири.

Вченими виявлено, що голодування впливає на якісний та кількісний склад бактерій кишок. Голодування може збільшити активність імунних клітин, що регулюють видову різноманітність бактерій у кишечнику.

Основні загальні тенденції при голодуванні такі: під час голодування спостерігається зменшення кількості бактерій, які розкладають клітинну масу, таких як *Ruminococcus* spp. та *Bacteroides* spp. Це пов'язано зі зменшенням доступності клітинної маси як джерела поживних речовин [11, 16, 23]. Під час голодування спостерігається збільшення кількості бактерій, які сприяють збереженню енергії, таких як *Akkermansia muciniphila*. Ці бактерії здатні розкласти муцин, що є основною складовою клітинного шару кишок, і виробляти корисні метаболіти. Голодування може впливати на склад бактерій, які пов'язані з запальними процесами. Зокрема, спостерігається зменшення кількості бактерій, що виробляють запальні метаболіти, таких як *Escherichia coli*. Під час голодування може з'явитися більше різних видів бактерій, що може бути пов'язано з поліпшенням здоров'я. Голодування може впливати на енергетичний обмін організму та метаболізм. Хоча ці результати є цікавими, важливо зазначити, що дослідження в галузі мікробіома калу при голодуванні все ще тривають, і ще потрібно багато досліджень для повного розуміння цих процесів та їх впливу на здоров'я людини [24, 25].

Деякі дослідження показують, що короткочасне голодування може сприяти відновленню та оновленню мікробіому після голодування, однак тривале голодування або недостатня харчова раціоналізація може спричинити негативний вплив на мікробіом кишечника. Слід зазначити, що таких досліджень наразі не достатньо.

Мета роботи – вивчити мікробом товстої кишки за аналізами калу при різних видах харчування.

Методи досліджень – мета-аналіз наукового матеріалу з наукових баз інтернет-джерел – PubMed, Science Direct, Google Scholar за такими термінами: «Мікробіом», «Мікробіота», «Мікробіом товстої кишки людини», «Мікробіом калу», «Мікробіом в онтогенезі», «Вплив їжі на мікробіом», «Вплив м'яса на мікробом кишок», «Вплив овочів та фруктів на мікробом кишок», «Вплив голодування на мікробом», «Пробіотики та пребіотики і мікробом людини» та ін.

Критеріями відбору статей були:

літературні огляди та клінічні випробування,

огляди та оригінальні дослідження, зроблені за останні 15 років.

В нашому дослідженні брали участь добровольці чоловічої статі віком 24-36 років.

Дослідження проводилось згідно до міжнародних норм біоетики і законодавства України. Всі особи, які приймали участь в дослідженні були поінформовані щодо цілей, засобів, структури та послідовності проведення дослідження і надали згоду.

Особі здавали на аналіз мікробіоти кал в медичній лабораторії DIAGEN м. Києва. Проводився якісний та кількісний аналіз калу за результатами ПЛР-тесту «МІКРОБІОМ/МЕТАБОЛІЗМ».

Математична обробка результатів дослідження проводилась за допомогою пакета програм Microsoft Office 2007 (MS Excel) та програми STATISTICA 6.0 з використанням загальноприйнятих методів варіаційної статистики.

Організація дослідження. Дослідження проводилось у два етапи.

1. Проводили визначення мікробіому калу (товстої кишки) при різних видах харчування: 6 осіб, які в житті притримуються всеїдного раціону, перейшли на вегетаріанство (впродовж 3 тижнів), після чого перейшли на сиродіння (впродовж 10 діб). Ці особи тричі здавали кал на дослідження мікробіому (на всеїдінні, після вегетаріанства і після сиродіння).

2. Визначали вплив голодування на мікробіом калу (товстої кишки): 4 особи, які споживають різну їжу – і рослинну, і тваринну, голодували впродовж 60 годин, (до і після голодування здавали аналізи).

Отримані результати аналізували та описували і робили висновки.

У нашому дослідженні брали участь 6 осіб, які добровільно змінювали різні види харчування. Для повсякденного життя їм був характерним всеїдний раціон. Нами було запропоновано змінити вид харчування на вегетаріанський, який вони практикували впродовж трьох тижнів.

До вегетаріанського харчового раціону були включені такі продукти, як: овочі, фрукти, хліб житній бездріжджовий, каші, вегетаріанські супи та борщ, печиво, картопля, зрази з капустою, гриби, чаї, кава, соки та ін.

Після періоду вегетаріанства досліджуваним було запропоновано перейти на вегетаріанське сиродіння, яке включало споживання: сирих овочів, фруктів, горіхів, насіння, олії холодного віджиму, сухофруктів, соків, смузі з овочів і фруктів, пророщене зерно та води. Вівсяна, гречана крупи термічно не оброблялись, їх замочували у теплій воді. Період такого раціону тривав – 10 діб.

В науковій літературі описана досить мала кількість досліджень, які висвітлюють питання стану мікробіому кишок при сиродінні.

Деякі з таких досліджень показують, що сиродіння змінює склад та різноманітність мікробіому кишечника. Сиродіння – для переважної кількості людей є складним випробуванням для здоров'я, оскільки неправильний підхід до споживання таких продуктів може викликати дефіцит певних поживних речовин: білків, заліза, вітамінів В₁₂ та D, що може зашкодити здоров'ю загалом.

У нашому дослідженні виявлено, що перехід від всеїдності до вегетаріанського раціону викликає збільшення загальної бактеріальної маси, а перехід після цього на сиродіння – до нормалізації загальної маси мікробіоти (табл. 1).

В нашому дослідженні у осіб, які знаходились на всеїдному раціоні, у 5 з 6 – не було виявлено представників виду *Akkermansia muciniphila* (табл. 2). Як відомо, бактерія цього виду руйнує слизову оболонку товстої кишки, чим стимулює секрецію муцину, який споживається корисними видами бактерій кишечника [26].

Згідно до наукових даних, *Akkermansia muciniphila* створює в мікробіоті товстої кишки складні метаболічні перехресні взаємодії, і суттєво впливає на склад мікробіому кишечника. Ці мікроорганізми можуть виробляти екстрацелюлярні везикули, регулювати імунні реакції та забезпечувати бар'єрну функцію кишечника. Вчені та медики розглядають перспективи використання *Akkermansia muciniphila* як нового пробіотичного препарату [27].

Таблиця 1

Результати досліджень калу на загальну бактеріальну масу при зміні харчового раціону (на всеїдінні, вегетаріанстві, сиродінні) (n=6), (од. виміру – копії/мл)

Показники	Результат	Референтні значення
Загальна бактеріальна маса на всеїдінні (1)	$3 \cdot 10^{12} \pm 2 \cdot 10^3$	$10^{11} - 10^{13}$
Загальна бактеріальна маса на вегетаріанстві (2)	$2 \cdot 10^{13} \pm 7 \cdot 10^3 \square$	$10^{11} - 10^{13}$
Загальна бактеріальна маса на сиродінні (3)	$9 \cdot 10^{11} \pm 3 \cdot 10^2 \square, \square \square$	$10^{11} - 10^{13}$

Примітка: \square – статистична вірогідність відмінностей порівняно зі всеїдністю (1), $p < 0,05$, $\square \square$ – статистична вірогідність відмінностей сиродіння порівняно з вегетаріанством, $p < 0,05$.

Наукові дослідження показують, що зниження рівня *A. muciniphila* в людському мікробіомі товстої кишки провокує розвиток ожиріння, цукрового діабету, різних запальних процесів та розладів метаболізму [27, 28].

Фахівці стверджують, що поліфеноли можуть сприяти підвищенню кількості *A. muciniphila*. Поліфеноли містяться в чорному та зеленому чаю, винограді, журавлині, каві, апельсинах, грейпфрутаї, оливковій олії, гіркому шоколаді, червоному вині, лохині та чорниці.

Дані наших досліджень узгоджуються з літературними. Так, у осіб, які перейшли з м'ясоїдного раціону на вегетаріанський, з великою кількістю овочів і фруктів, виявили присутність названої бактерії *Akkermansia muciniphila*. При зміні раціону харчування на сиродінний рівень бактерії *Akkermansia muciniphila* в мікробіомі калу не вийшов за межі референтних значень (табл. 2).

Таблиця 2

Результати досліджень калу на мікробіоту при зміні харчового раціону (n=5), (од. виміру – копії/мл)

Показники	Результат	Референтні значення
<i>Akkermansia muciniphila</i> на всеїдінні (1)	не виявлено	$< 10^{11}$
<i>Akkermansia muciniphila</i> на вегетаріанстві (2)	$10^{10} \pm 3 \cdot 10^3$	$< 10^{11}$
<i>Akkermansia muciniphila</i> на сиродінні (3)	$7 \cdot 10^8 \pm 8 \cdot 10^2 \square \square$	$< 10^{11}$

Примітка: $\square \square$ – статистична вірогідність відмінностей сиродіння (3) порівняно з вегетаріанством (2), $p < 0,05$.

Отже, можна стверджувати, що вегетаріанська, тим паче, сиродна їжа сприяє заселенню мікробіому кишок корисною бактерією *Akkermansia muciniphila*.

Наявність в товстій кишці бактерій виду *Prevotella* spp. свідчить про наявність в раціоні людини продуктів, що містять вуглеводи та харчові волокна. Виявлено, що перехід на вегетаріанський раціон сприяє збільшенню кількості цих бактерій, хоча і залишається в межах норми. Подальший перехід на сиродіння – не змінює їхню кількість.

В калі досліджуваних людей при всеїдінні та при вегетаріанстві не було виявлено *Methanobrevibacter*, а під час сиродіння ці бактерії з'явилися (табл. 3), що можна пояснити тим, що виникає необхідність утилізувати водень, який виділяється бактеріями бродіння в якості побічного продукту і, який є для них шкідливим, для того, щоб процес перетравлення рослинних поліцукрів був ефективним.

Результати досліджень калу на мікробіоту у осіб
при зміні харчового раціону (n=6), (од. виміру – копії/мл)

Показники	Результат	Референтні значення
Methanobrevibacter smithii на всеїдінні (1)	не виявлено	$10^6 - 10^{10}$
Methanobrevibacter smithii на вегетаріанстві (2)	не виявлено	$10^6 - 10^{10}$
Methanobrevibacter smithii на сиродінні (3)	$5 \cdot 10^5$	$10^6 - 10^{10}$

Кількість корисних бактерій родів – *Lactobacillus* spp. та *Bifidobacterium* spp. – при переході на вегетаріанство зросла понад норму, а при сиродінні трохи зменшилась, але залишилась понад норму.

Кількість корисних бактерій *Eubacterium rectale* при переході на вегетаріанську їжу зростає в 10 разів, після сиродіння не змінюється, порівняно із вегетаріанством.

Вплив голодування на мікробом кишечника. Досліджувані нами особи, які були на всеїдному раціоні, а потім 60 годин голодували показали наступні результати. Загальна бактеріальна маса зменшилась, але не достовірно. Кількість бактерій виду *Lactobacillus* spp. знизилась до нижньої межі норми, але не вийшла за межі. Кількість корисних бактерій виду *Bacteroides* spp. збільшилась у 12,5 разів, порівняно із всеїдінням і вийшла за верхню межу норми.

Бактерії виду *Eubacterium rectale* продукують бутират. Згідно до наукових даних, їхня кількість зменшується при втомі. У нашому випадку після голодування кількість даної бактерії зменшилась у 1000 разів і сягнула нижньої межі норми.

Проблема потребує подальших досліджень, відпрацювання самої схеми дослідження, збільшення вибірки для отримання більш значущої достовірності.

Висновки та перспективи подальших розвідок. Шлунково-кишковий мікробіом – це різноманітний консорціум бактерій, архей, грибів, найпростіших і вірусів. Мікробіом бере участь у низці фізіологічних процесів, життєво важливих для здоров'я господаря. Мікробний геном надає метаболічні можливості, що перевищують здатність організму господаря, що робить мікробіом кишок активним учасником його фізіології.

Зміни в шлунково-кишковому мікробіомі пов'язані із захворюваннями у людей і тварин, включаючи запальні захворювання кишечника, астму, ожиріння, метаболічний синдром, серцево-судинні захворювання, імуноопосередковані стани та захворювання нервової системи, такі як аутизм.

Якісний та кількісний склад мікробіому в дитинстві багато в чому визначає майбутнє здоров'я людини. Кожен людський організм населений унікальною мікробною екосистемою.

У нашому дослідженні виявлено, що перехід від всеїдності до вегетаріанського раціону викликає збільшення загальної бактеріальної маси, а перехід після цього на сиродіння – до нормалізації загальної маси мікробіоти.

На всеїдінні не виявлено бактерії виду *Akkermansia muciniphila*, яка руйнує слизову оболонку кишечника, стимулює секрецію муцину, який при переробці слугує їжею для корисних бактерій кишечника. Зниження рівня *A. muciniphila* в людському мікробіомі призводить до ризиків ожиріння, діабету, розвитку запальних процесів та розладів метаболізму. У осіб, які перейшли з м'ясоїдного раціону на вегетаріанський, а потім на сиродінний, в якому були присутні овочі і фрукти, виявили присутність названої бактерії. Можна стверджувати, що вегетаріанська, тим паче, сиродінна їжа сприяє заселенню мікробіому кишечника корисною бактерією *Akkermansia muciniphila*.

Ентеротип *Prevotella* spp. вказує на вживання здоровою людиною продуктів, у яких

превалюють вуглеводи та харчові волокна. Після переходу на вегетаріанство кількість цих бактерій збільшується, але залишається в межах норми. Після переходу на сиров'ядіння – кількість не змінюється.

Бактерії виду *Methanobrevibacter smithii* були відсутніми при всеїдінні та при вегетаріанстві, а під час сиров'ядіння з'являються. Появу цих бактерій на сиров'ядінні можна пояснити тим, що виникає необхідність утилізувати водень, який виділяється бактеріями бродіння у якості шкідливого побічного продукту. Процес перетравлення рослинних поліцукрів стає більш ефективним.

При переході на вегетаріанство та на сиров'ядіння достовірно зросла кількість корисних бактерій родів – *Lactobacillus* spp., *Bifidobacterium* spp. та *Eubacterium rectale*.

Голодування впродовж 60 годин призводить до тенденції зменшення загальної бактеріальної маси. Кількість бактерій виду *Lactobacillus* spp. знизилась до нижньої межі норми. Кількість корисних бактерій виду *Bacteroides* spp. збільшилась у 12,5 разів, порівняно із всеїдінням і вийшла за верхню межу норми.

Бактерії виду *Eubacterium rectale* продукують бутират. Згідно до наукових даних, їхня кількість зменшується при втомі. У нашому випадку після голодування кількість даної бактерії зменшилась у 1000 разів і сягнула нижньої межі норми.

Мікробіом кишечника – це різноманітна та практично не вивчена екосистема з дуже складними біологічними взаємодіями. Перспективою досліджень мікробіому при різних видах харчування є вивчення механізмів цих взаємодій.

Список використаної літератури:

1. Знайомтесь, мікробом – ваше друге “Я”. – URL: <https://taslife.com.ua/blog/microbiome>
2. Szymańska, S., Szymański, R., Grzybek, H. (2017). Mikrobiom człowieka – znaczenie zdrowotne i perspektywy terapeutyczne. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*. 71:1050-1062.
3. Wasilewska, E., Juśkiewicz, J. (2017). Mikrobiom jelita grubego: znaczenie dla zdrowia i diety człowieka. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*. 50(1):1-12.
4. Górska, A., Przystupińska, A., Niemczura, M. J., Gamian, A. (2018). Mikrobiom jelita, jego składniki i ich wpływ na zdrowie człowieka. *Postępy Mikrobiologii*. 57(3):245-254.
5. Tung, Yu-Tang, Chen, Ying-Ju, Chuang, Hsiao-Li, Huang, Wen-Ching, Lo, Chun-Tsung, Liao, Chen-Chung et al. (2017). Characterization of the serum and liver proteomes in gut-microbiota-lacking mice. *Int J Med Sci*. 14(3):257-267.
6. Лунгу М. В., Рудьковська О. Л., Мельник В. І. (2018). Мікробіом калу як біологічний маркер здоров'я. *Східноєвропейський журнал внутрішньої та сімейної медицини*. 2(1). С. 36-41.
7. Davenport, E. R., Sanders, J. G., Song, S. J., Amato, K. R., Clark, A. G., Knight, R. (2017). The human microbiome in evolution. *BMC Biol*. 15(1):127.
8. Колодяжна О. А., Іванченко Н. В., Єльнікова О. П. (2019). Мікробіом калу: структура та функції. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Біологія*. 45. С. 55-60.
9. Barko, P. C., McMichael, M. A., Swanson, K.S., Williams, D. A. (2018). The Gastrointestinal Microbiome: A Review. *J Vet Intern Med*. 32(1):9-25.
10. Wang, H., Liang, S., Wang, M., Jin, F., Wang, J. (2019). Gut microbiota-brain axis. *Chinese medical journal*. 132(13):1619-1627.
11. Majewska-Szczepanik, M., Kowalska, K., Szczepanik, M. (2019). Mikrobiom jelita grubego a choroby autoimmunologiczne. *Polski merkuriusz lekarski: organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego*. 46(271):83-86.
12. Moles, L., Gomez, M., Heilig, H. (2013). Bacterial diversity in meconium of preterm neonates and evolution of their fecal microbiota during the first month of life. *PLoS One*. 8, e66986.
13. Sender, R., Fuchs, S., Milo, R. (2016). Revised estimates for the number of human and bacteria cells in the body. *PLoS biology*. 14(8):e1002533
14. Бабак О. Я. (2018). Кишковий мікробіом: склад, функції та терапевтичні можливості його відновлення. *Сучасна гастроентерологія*. 5(103). С. 87–94.
15. Бабак С.В., Малько К.С. (2023). Актуальність дослідження мікробіому людини. *Збірка тез*

доповідей науково-практичної конференції з міжнародною участю «Актуальні проблеми громадської та екологічної безпеки України» (дев'ятнадцять Марзєєвські читання). 19 жовтня 2023. м. Київ. 23. С. 59-60.

16. Ширококов В. П., Янковський Д.С., Димент Г. С. (2014). Мікробіом людини та сучасні методи його оздоровлення. Інфекційні хвороби. 2. С. 64-69.
17. Іванченко Н. В., Єльнікова О. П., Колодяжна, О. А. (2018). Мікробіом калу: роль у забезпеченні здоров'я людини. Український журнал мікробіології, біотехнології та вірусології. 1(42). С. 4-16.
18. Ciebiada-Adamiec, A., Adamiec, R., Ciebiada, M. (2019). Mikrobiom jelita grubego a otyłość. Polski merkuriusz lekarski: organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego. 46(271):79-82.
19. Manos, J. (2022). The human microbiome in disease and pathology. APMIS. 130(12):690-705.
20. MacIntyre, D. A., Chandiramani, M., Lee, Y. S., Kindinger, L., Smith, A., Angelopoulos, N. et al. (2015). The vaginal microbiome during pregnancy and the postpartum period in a European population. Sci. Rep. 5:8988.
21. Human Microbiome (2012). Project Consortium. Structure, function and diversity of the healthy human microbiome. Nature. 486(7402):207-214.
22. Chen, B., Li, D., Leng, D., Kui, H., Bai, X., Wang, T. (2022). Gut microbiota and meat quality. Front Microbiol. 23(13):951726. doi: 10.3389/fmicb.2022.951726
23. Dalton, A., Mermier, C., Zuhl, M. (2019). Exercise influence on the microbiome-gut-brain axis. Gut Microbes. 10(5):555-568.
24. Crowson, M. M., McClave, S. A. (2020). Does the Intestinal Microbiome Impact Athletic Performance? Curr Gastroenterol Rep. 11:53.
25. De Leoz, M. L., Kalanetra, K. M., Bokulich, N. A. (2015). Human milk glycomics and gut microbial genomics in infant feces show a correlation between human milk oligosaccharides and gut microbiota: a proof-of-concept study. J Proteome Res. 14:491-502.
26. Фадієнко Г. Д., Гріднієв О. Ю. (2020). Akkermansia mucinifila – роль у порушенні метаболізму. Український терапевтичний журнал. 4. С. 55-62.
27. Мюррей М. (2023). Akkermansia Muciniphila: мікробіомна суперзірка, про яку варто знати. – URL: https://ua.iherb.com/blog/akkermansia-muciniphila-microbiome-benefits/1777?gclid=EAIaIQobChMIsoRgs8DSgQMVuEGRBR3MtwSuEAAAYASAAEgLDYfD_BwE&gclid=aw.ds

References

1. Znaiomtes, mikrobom – vashe druhe “Ya” [Meet your microbiome: Your "alter ago"] – URL: <https://taslife.com.ua/blog/microbiome> (in Ukr.)
2. Szymańska, S., Szymański, R., Grzybek, H. (2017). Mikrobiom człowieka – znaczenie zdrowotne i perspektywy terapeutyczne. Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej.
3. Wasilewska, E., Juśkiewicz, J. (2017). Mikrobiom jelita grubego: znaczenie dla zdrowia i diety człowieka. Bromatologia i Chemia Toksykologiczna.
4. Górska, A., Przystupińska, A., Niemczura, M. J., Gamian, A. (2018). Mikrobiom jelita, jego składniki i ich wpływ na zdrowie człowieka. Postępy Mikrobiologii.
5. Tung, Yu-Tang, Chen, Ying-Ju, Chuang, Hsiao-Li, Huang, Wen-Ching, Lo, Chun-Tsung, Liao, Chen-Chung et al. (2017). Characterization of the serum and liver proteomes in gut-microbiota-lacking mice. Int J Med Sci.
6. Lunhu, M. V., Rudkovska, O. L., Melnyk, V. I. (2018). Mikrobiom kалу yak biolohichniy marker zdorovia. Skhidnoievropeyskyi zhurnal vnutrishnoi ta simeinoi medytsyny [Lungu M.V., Rud'kov's'ka O.L., Mel'nyk V.I. Fecal microbiome as a biomarker of health. Eastern european journal of internal and family medicine] (in Ukr.)
7. Davenport, E. R., Sanders, J. G., Song, S. J., Amato, K. R., Clark, A. G., Knight, R. (2017). The human microbiome in evolution. BMC Biol.
8. Kolodiazna, O. A., Ivanchenko, N. V., Yelnykova, O. P. (2019). Mikrobiom kалу: struktura ta funktsii. Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii: Biolohiia [Kolodiazna O.A., Ivanchenko N.V., Iel'nykova O.P. The Fecal Microbiome: Structure and Functions. Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Biology] (in Ukr.)
9. Barko, P. C., McMichael, M. A., Swanson, K.S., Williams, D. A. (2018). The Gastrointestinal Microbiome: A Review. J Vet Intern Med.
10. Wang, H., Liang, S., Wang, M., Jin ,F., Wang, J. (2019). Gut microbiota-brain axis. Chinese medical

journal.

11. Majewska-Szczepanik, M., Kowalska, K., Szczepanik, M. (2019). Mikrobiom jelita grubego a choroby autoimmunologiczne. *Polski merkuriusz lekarski: organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego*.
12. Moles, L., Gomez, M., Heilig, H. (2013). Bacterial diversity in meconium of preterm neonates and evolution of their fecal microbiota during the first month of life.
13. Sender, R., Fuchs, S., Milo, R. (2016). Revised estimates for the number of human and bacteria cells in the body. *PLoS biology*.
14. Babak O. Ya. (2018). Kyshkovyi mikrobiom: sklad, funktsii ta terapevtychni mozhlyvosti yoho vidnovlennia. Suchasna hastroenterolohiia [Babak O.IA. Gut microbiome: composition, function and the therapeutic potential of its restoration. *Modern gastroenterology*] (in Ukr.)
15. Babak S.V., Malko K.S. (2023). Aktualnist doslidzhennia mikrobiomu liudyny. Zbirka tez dopovidei naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu «Aktualni problemy hromadskoi ta ekolohichnoi bezpeky Ukrainy» (deviatnadtsiati Marzieievski chytannia). 19 zhovtnia 2023. m. Kyiv [Babak S.V., Mal'ko K.S. The relevance of human microbiome research. The collection of abstracts reports of the scientific-practical conference with international participation "Relevant issues of public and ecological safety in Ukraine" (19th Marzieiev readings)] (in Ukr.)
16. Shyrobokov, V. P., Yankovskyi, D.S., Dymant, H. S. (2014). Mikrobiom liudyny ta suchasni metody yoho ozdorovlennia. Infektsiini khvoroby [Shyrobokov V.P., Iankovskyi D.S., Dymant H.S. The human microbiome and modern methods for its restoration. *Infectious diseases*] (in Ukr.)
17. Ivanchenko, N. V., Yelnykova, O. P., Kolodiazhna, O. A. (2018). Mikrobiom kalu: rol u zabezpechenni zdorovia liudyny. Ukrainskyi zhurnal mikrobiolohii, biotekhnolohii ta virusolohii [Ivanchenko N.V., Iel'nykova O.P., Kolodiazhna O.A. The fecal microbiome: its role in maintaining human health. *Ukrainian journal of microbiology, biotechnology and virology*] (in Ukr.)
18. Ciebiada-Adamiec, A., Adamiec, R., Ciebiada, M. (2019). Mikrobiom jelita grubego a otyłość. *Polski merkuriusz lekarski: organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego*.
19. Manos, J. (2022). The human microbiome in disease and pathology. *APMIS*.
20. MacIntyre, D. A., Chandiramani, M., Lee, Y. S., Kindinger, L., Smith, A., Angelopoulos, N. (2015). The vaginal microbiome during pregnancy and the postpartum period in a European population. *Sci. Rep.*
21. Human Microbiome Project Consortium. (2012). Structure, function and diversity of the healthy human microbiome. *Nature*.
22. Chen, B., Li, D., Leng, D., Kui, H., Bai, X., Wang, T. (2022). Gut microbiota and meat quality. *Front Microbiol.*
23. Dalton, A., Mermier, C., Zuhl, M. (2019). Exercise influence on the microbiome-gut-brain axis. *Gut Microbes*.
24. Crowson, M. M., McClave, S. A. (2020). Does the Intestinal Microbiome Impact Athletic Performance? *Curr Gastroenterol Rep.*
25. De Leoz, M. L., Kalanetra, K. M., Bokulich, N. A. (2015). Human milk glycomics and gut microbial genomics in infant feces show a correlation between human milk oligosaccharides and gut microbiota: a proof-of-concept study. *J Proteome Res.*
26. Fadiienko, H. D., Hridniiev, O. Yu. (2020). Akkermansia mucinifila – rol u porushenni metabolizmu. Ukrainskyi terapevtychnyi zhurnal [Fadiienko H.D., Hridniiev O. IU. Akkermansia mucinifila – role in metabolic disorders. *Ukrainian therapeutic journal*] (in Ukr.)
27. Miurrei, M. (2023). Akkermansia Muciniphila: mikrobiomna superzirka, pro yaku varto znaty [Miurrei M. Akkermansia Muciniphila: gut microbiome superstar you need to know about] – URL: https://ua.iherb.com/blog/akkermansia-muciniphila-microbiome-benefits/1777?gclid=EAIAIQobChMIsoRgs8DSgQMVuEGRBR3MtwSuEAAYASAAEgLDYfD_BwE&gclsrc=aw.ds (in Ukr.)

Svitlana Babak, Kateryna Mal'ko THE MICROBIOME OF THE LARGE INTESTINE UNDER VARIOUS DIETS

Introduction. The human digestive system is a complex structure where the microbiota plays a significant role, influencing both the functioning of the digestive system and the overall organism. The microbiome is a diverse community of various living organisms: bacteria, archaea, fungi, protozoa and

viruses. Research on the human gut microbiome is far from complete, making the topic extremely relevant. Little is known about the specific characteristics of the large intestine microbiome under different dietary patterns, especially during fasting.

The purpose of this study is to investigate the large intestine microbiome through fecal analysis under various dietary patterns.

Methods: a meta-analysis of scientific literature on the research topic was conducted using scientific databases of internet sources; a fecal analysis study was conducted using PCR test "MICROBIOME/METABOLISM" results in individuals practicing different dietary patterns, as well as during fasting.

Results. Dietary pattern and food intake affect the composition of the large intestine microbiota and feces.

Our study found that transitioning from an omnivorous diet to a vegetarian diet resulted in an increase in overall bacterial mass, while subsequent transition to a raw food diet led to the normalization of overall microbiota mass.

Our study found that transitioning from an omnivorous diet to a vegetarian diet resulted in an increase in overall bacterial mass, while subsequent transition to a raw food diet led to the normalization of overall microbiota mass.

On an omnivorous diet, bacteria of the species *Akkermansia muciniphila*, which breaks down the intestinal mucosal barrier and stimulates mucin secretion, serving as food for beneficial gut bacteria during processing, were not detected. A reduction in the level of *A. muciniphila* in the human microbiome leads to risks of obesity, diabetes, inflammatory processes, and metabolic disorders. Individuals who transitioned from a carnivorous diet to a vegetarian one and then to a raw food diet rich in vegetables and fruits exhibited the presence of the mentioned bacteria. It can be asserted that a vegetarian diet, especially a raw food diet, facilitates the colonization of the gut microbiome with the beneficial bacterium *Akkermansia muciniphila*.

The *Prevotella* spp. enterotype characterizes the consumption of foods rich in carbohydrates and dietary fibers by a healthy individual. After transitioning to a vegetarian diet, the quantity of these bacteria increases but remains within the normal range. After transitioning to a raw food diet, their quantity remains unchanged.

The *Methanobrevibacter smithii* bacteria were absent in omnivorous and vegetarian diets but emerged during a raw food diet. This emergence can be attributed to the need to utilize hydrogen, a harmful byproduct produced by fermentative bacteria.

Upon transitioning to vegetarianism and a raw food diet, the quantity of beneficial bacteria genera *Lactobacillus* spp., *Bifidobacterium* spp., and *Eubacterium rectale* significantly increased.

Prolonged fasting for 60 hours generally leads to a reduction in overall bacterial mass. The quantity of *Lactobacillus* spp. bacteria decreased to the lower limit of the normal range. Conversely, the quantity of beneficial *Bacteroides* spp. bacteria increased by 12.5 times compared to an omnivorous diet, surpassing the upper limit of the normal range. *Eubacterium rectale* bacteria, which produce butyrate, tend to decrease in number during periods of fatigue, as supported by scientific research. Our study found that fasting led to a significant decrease in the number of these bacteria by 1000 times, reaching the lower limit of the normal range.

Conclusions. The gut microbiome is a diverse and largely unexplored ecosystem characterized by highly complex biological interactions. A promising research avenue in microbiome studies under various dietary conditions lies in elucidating the mechanisms underlying these interactions.

Keywords: gut microbiome, large intestine, dietary patterns, omnivorous diet, vegetarian diet, raw food diet, fasting, bacterial mass.

Одержано редакцією: 17.04.2024

Прийнято до публікації: 13.05.2024

УДК 796:612.135:613.73-053.81

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-63-71

Ширлі-Анастасія Сергіївна Корман

Національний університет фізичного виховання і спорту України

Korman.Shyrli@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1422-2689>**Галина Володимирівна Лук'янцева**

Національний університет фізичного виховання і спорту України

lukjantseva@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8054-0108>

ВІКОВІ ЗМІНИ МАКРО- І МІКРОЦИРКУЛЯЦІЇ КРОВІ ПІД ВПЛИВОМ ДОЗОВАНОГО ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД СТУПЕНЯ ТРЕНОВАНОСТІ ОРГАНІЗМУ

В статті розглядаються особливості змін макро- і мікроциркуляції крові після дозованого фізичного навантаження у осіб різного віку і різного ступеня тренованості. Показано, що хвилинний об'єм крові в стані спокою у спортсменів є вищим, ніж у нетренованих осіб, у всіх вікових групах. Після виконання дозованого фізичного навантаження величина означеного параметру збільшується у всіх вікових групах, як у нетренованих студентів, так і у спортсменів; найбільший приріст відзначається у спортсменів. Зростання величини хвилинного об'єму крові опосередковується у спортсменів збільшенням систолічного об'єму, що може свідчити про більш економічну та ефективну адаптацію серцево-судинної системи до фізичної роботи. Величини параметрів, які визначають мікроциркуляцію крові, визначаються рівнем перфузії одиниці об'єму тканини за одиницю часу. В більшості випадків у юнаків з більшими величинами параметра мікроциркуляції при дозованому фізичному навантаженні спостерігається покращення ефективності регуляції кровотоку за рахунок переважання активних механізмів регуляції.

Ключові слова: дозоване фізичне навантаження; серцево-судинна система, макроциркуляція; мікроциркуляція; студенти; спортсмени.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зміна функцій серцево-судинної системи під впливом м'язової діяльності привертає увагу фізіологів, медиків та фахівців у галузі фізичної культури та спорту і є актуальним питанням сучасної фізіологічної науки. Необхідність з'ясування фізіологічних закономірностей впливу м'язової роботи на параметри системи кровообігу стає важливим завданням науки, оскільки на даний час спорт все глибше проникає в життя студентської молоді, і певною мірою слугує антистресовим фактором. Заняття фізичною культурою та спортом дуже популярні і тому актуальність проблеми впливу фізичних вправ на організм молоді та спортсменів з кожним роком зростає [1, 2].

Важливими характеристиками формування реакції системи кровообігу на фізичні навантаження є як особливості механізмів регуляції центральної гемодинаміки, так і мікроциркуляції крові. Щодо останньої, то периферичний кровообіг забезпечує основу нормальної життєдіяльності органів і систем, повноцінне функціонування клітинних елементів при різноманітних впливах на організм, у тому числі при фізичній роботі [3]. Втім, вивчення реактивності системи мікроциркуляції за умов м'язової діяльності потребує ясного розуміння механізмів перебудов у всіх ланках мікроциркуляторного русла і має значення не тільки для фізіології спорту і спортивної медицини, але й має загально-фізіологічний інтерес [4, 5].

Наявні в літературі дані щодо зміни параметрів мікроциркуляції показують, що в процесі спортивного тренування відбувається певна морфофункціональна перебудова всього мікроциркуляторного русла, спрямована на підтримку оптимальної оксигенації в скелетних

м'язах [6, 7]. За останні 10 років використання лазерної доплерівської флоуметрії (ЛДФ) для оцінки моніторингу стану мікроциркуляції крові значно розширилось як в експериментальних, так і в клінічних умовах [8]. Проте, залишається цілий ряд невирішених проблем, які обумовлюють зміни мікроциркуляції крові під впливом різних доз фізичної роботи [9, 10]. Найявні у сучасній літературі дані свідчать про відсутність єдиної думки і остаточної з'ясованості механізмів, які лежать в основі структурно-функціональних змін макро- та мікроциркуляторного русла після виконання фізичних вправ у осіб різного віку залежно від ступеня їхньої тренуваності.

З огляду на вищезазначене, **метою** нашого дослідження було визначення особливості реакції макро- та мікроциркуляції крові на дозоване фізичне навантаження у осіб різного віку і різного ступеня тренуваності.

Матеріали та методи дослідження. Особливості системного кровообігу і мікроциркуляції при дозованому фізичному навантаженні (ДФН) залежно від ступеня тренуваності організму досліджували при обстеженні чоловіків у віці 18 - 21 року, тренуваних (спортсмени-легкоатлети рівня кандидатів у майстри спорту, в подальшому - спортсмени) та нетренуваних того ж віку (в подальшому - студенти). Обстежені були розподілені на 4 вікові групи:

	студенти:	спортсмени:
1 група	18-річні (16 осіб);	18-річні (20 осіб);
2 група	19-річні (10 осіб);	19-річні (14 осіб);
3 група	20-річні (10 осіб);	20-річні (10 осіб);
4 група	21-річні (16 осіб);	21-річні (10 осіб).

Усі обстеження проводились відповідно до рекомендацій етичних комітетів з питань біомедичних досліджень, Гельсінської декларації 2000 р. та директиви Європейського товариства 86/609 стосовно участі людей у медико-біологічних дослідженнях. Спортсмени обстежувались в рамках проведення стандартного тренувального процесу, у відповідності до засад поточного контролю у теорії і практиці спорту (2015 р.), Типового положення про центр олімпійської підготовки (2007 р.) і «Стратегії формування сучасної системи олімпійської підготовки» (Закон № 77-VIII від 28.12.2014 р.). Дослідження із залученням студентів та спортсменів проводили за їх особистої згоди, у відповідності до Конвенції Ради Європи «Про захист прав людини і людської гідності в зв'язку з застосуванням досягнень біології та медицини: Конвенція про права людини та біомедицину (ETS № 164)» від 04.04.1997 р., і Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (2008 р.).

Групи студентів і спортсменів обстежувались тричі: у стані відносного фізіологічного спокою (тобто, вимірювали вихідні або контрольні значення); після однократного виконання фізичних вправ (дозоване фізичне навантаження на велоергометрі з частотою 170 об/хв, протягом 2 хвилин); однократне дозоване фізичне навантаження на тлі проведення тритижневого дозованого фізичного навантаження (за аналогічною схемою).

Для моделювання м'язової роботи використовували велоергометр Ergoselect 100 (Ergoline GmbH, Україна) з автоматичним вимірюванням величини артеріального тиску. У велоергометрі опціонально вбудований модуль автоматичного вимірювання рівня артеріального тиску, котрий працює зі спеціально розробленим мікрофоном для манжети. Поєднання акустичного методу вимірювання і алгоритмів для придушення артефактів забезпечує точні результати вимірювання навіть при значних обсягах м'язової роботи. Визначення функціональних показників серцево-судинної системи проводили за відповідними підходами та формулами [11]:

1. Пульсовий тиск (ПТ) - різниця між систолічним і діастолічним тиском.

2. Середній динамічний тиск (СДТ): $СДТ = ДАТ + ПТ/3$, де ДАТ – діастолічний артеріальний тиск.

3. Визначення системи – «пульсовий тиск – хвилинний об'єм крові» проводили за формулою Старра [12]:

$$УО = 90,97 + 0,54 ПТ - 0,57 ДАТ - 0,61В,$$

де УО – ударний об'єм, ПТ - пульсовий тиск, ДАТ - діастолічний аретріальний тиск, В – вік в роках.

4. Визначення величини ХОК: $ХОК = УО \times ЧСС$, де ЧСС – частота серцевих скорочень.

Мікроциркуляцію крові (МЦК) оцінювали за допомогою лазерної доплерівської флоуметрії (ЛДФ) із застосуванням апарата для ЛДФ BLF 21 (Transonic System Inc., США), при накладанні електродів на вентральну поверхню дистальної фаланги 4-го пальця руки. Аналіз отриманих ЛДФ-грам виконували у відповідності з інструкцією до приладу.

Для вирішення поставлених у роботі завдань, досліджували основні параметри мікроциркуляції крові, до котрих належать: параметр мікроциркуляції (ПМ) - визначає рівень перфузії одиниці об'єму тканини за одиницю часу; величина середнього квадратичного відхилення (СКВ), що характеризує часову мінливість мікроциркуляції; коефіцієнт варіації (Кv), котрий дає інформацію про внесок вазомоторного компонента в модуляцію тканинного кровотоку; індекс ефективності мікроциркуляції (ІЕМ), який дає інтегральну характеристику співвідношення механізмів активної (обумовленої біогенною та нейрогенною активністю прекапілярних вазомоторів та власне судинним тонусом) і пасивної (обумовленої флуктуаціями кровотоку, синхронізованими з кардіо- та дихальними ритмами) модуляції кровотоку і вказує на ефективність перфузії одиниці об'єму тканини;

$\frac{A \max CF_1}{A \max LF}$ - активний механізм регуляції кровотоку;

$\frac{A \max HF_1}{A \max LF}$ пасивний механізм регуляції кровотоку.

$A \max LF$

Статистичну обробку отриманих результатів здійснювали за допомогою програми STATISTICA 6.0 і представляли у вигляді «середнє значення \pm стандартна похибка середнього» ($M \pm SEM$). Для визначення нормальності розподілу виборки даних використовували тест Шапіро-Уїлка. Відповідно до критерію Шапіро-Уїлка, отримані результати вкладалися в нормальний закон розподілу. Для оцінки їх достовірності використовували однофакторний дисперсійний аналіз one-way ANOVA і оцінювали вірогідність відмінностей між показниками. Вірогідними вважались розбіжності при $p < 0,05$.

Результати досліджень та їх обговорення. При обстеженні легкоатлетів різного віку у вихідному стані (до виконання ДФН) було встановлено, що існують достовірні відмінності величин деяких функціональних показників серцево-судинної системи, попри незначно вікові відмінності в межах 18 - 21 років. Особливості вікових відмінностей величин деяких функціональних параметрів серцево-судинної системи у спортсменів у стані спокою представлені у таблиці 1. Як видно з таблиці 1, найбільші відмінності спостерігалися між величинами параметрів крайніх вікових груп. Хвилеподібні коливання величин більшості виміряних нами параметрів можна пов'язати з післяпубертатним періодом, що обумовлюється комплексом морфологічних і функціональних перебудов в організмі юнаків, і стосується фізичного, психічного, соціального розвитку, а також стабілізації гормонального статусу [13].

Дослідження показали, що у спортсменів величина хвилинного об'єму крові в стані спокою була вищою, ніж у студентів усіх вікових груп. Така динаміка змін свідчить про ефективну і економічну роботу серцево-судинної системи у спортсменів. Це є наслідком тривалих і регулярних фізичних навантажень, які призводять до формування адаптивних реакцій з боку системи кровообігу, що, в свою чергу, сприяє підвищенню ефективності її функціонування. Відміни у величині ХОК в групах нетренованих і тренуваних осіб

обумовлена різницею внеску із боку частоти серцевих скорочень та систолічного об'єму серця, тобто - різною ефективністю кровообігу.

Слід відзначити, що найменша величина ЧСС була зареєстрована у 21-річних спортсменів, що може вказувати на більш економічну і ефективну роботу серця, що в свою чергу, обумовлюється адаптацією параметрів центральної і периферичної гемодинаміки до фізичних навантажень завдяки більшій тривалості занять спортом.

Таблиця 1

Вікові відмінності величин деяких функціональних показників серцево-судинної системи у спортсменів у стані спокою

Параметри	Вік в роках			
	18 (1 група)	19 (2 група)	20 (3 група)	21 (4 група)
Частота серцевих скорочень (ЧСС), л/хв	86,5±1,0 ^{#&}	66,0±2,6 ^{*&}	75,2±1,4 ^{*#}	61,0±2,2 ^{*&}
Систолічний об'єм (СО), мл	72,1±1,7	70,5±3,5	68,7±4,5	59,5±2,1 ^{*#&}
Хвилинний об'єм кровотоку (ХОК), л	6,2±0,5 ^{#&•}	4,6±0,9 [*]	5,1±1,0 [*]	3,6±2,1 ^{*&}
Систолічний артеріальний тиск (САТ), мм рт.ст.	131,2±1,3 ^{#&}	115,0±0,5 ^{*&•}	122,5±0,5 ^{*#•}	130,0±2,2 ^{#&}
Діастолічний артеріальний тиск (ДАТ), мм рт.ст.	80,7±0,2 [*]	75,7±0,5 [*]	77,5±7,5 [*]	90,0±2,2 ^{*#&}
Пульсовий тиск (ПТ), мм рт.ст.	51,2±1,3 ^{#&•}	45,0±0,4 [*]	45,0±0,5 [*]	40,0±0,8 ^{*#&}
Середньо-динамічний тиск (СДТ), мм рт.ст.	97,1±0,4 ^{#&•}	90,0±0,4 [*]	94,5±0,8 [*]	103,3±0,2 ^{*#&}

Примітки: * - різниця достовірна з 1 групою - $p < 0,05$; # - різниця достовірна з 2 групою - $p < 0,05$; & - різниця достовірна з 3 групою - $p < 0,05$; • - різниця достовірна з 4 групою - $p < 0,05$.

Величина середньо-динамічного артеріального тиску відповідає рівню тиску, що забезпечує перфузію майже усіх органів в організмі і вказує на співвідношення впливів на серцево-судинну систему симпатичної і парасимпатичної ланок автономної нервової системи, а також адаптаційного потенціалу організму, зумовленого різними типами саморегуляції кровообігу. У загальному, слід відмітити хвилеподібну динаміку вікових змін артеріального тиску у обстежених нами як тренуваних, так і нетренуваних осіб.

Разом з цим, встановлені специфічні відмінності у величинах пульсового тиску. Пульсовий тиск є функціональним відображенням (баричним еквівалентом) пульсового об'єму крові, що надходить у певну кровоносну судину під час систоли і залишає її під час діастоли, та містить результат взаємодії нагнітальної функції серця, розтяжності артерій і величини хвилі відображення. Пульсовий тиск безпосередньо пов'язаний з жорсткістю судин [14]. Встановлена динаміка змін пульсового тиску (Табл. 1, 2) вважається свідченням нераціональної реакції на будь які впливи серцево-судинної системи з боку артеріального тиску, незважаючи на адаптованість до навантажень серцево-судинної системи [15].

Слід зазначити, що порівняно зі станом спокою, найбільше підвищення величини частоти серцевих скорочень після дозованої фізичної роботи відзначалося у 21-річних

спортсменів, що мабуть свідчить про досить швидку реакцію серця у більш тривало тренуваних спортсменів (див. табл. 1, 2). А ось у віковому аспекті, після виконання дозованої м'язової роботи, динаміка величини ЧСС у спортсменів хоча і мала тенденцію до хвилеподібних змін, проте, означені зміни були недостовірними щодо кожної вікової групи. Спостерігалось також і значне збільшення хвилинного об'єму крові (відносно контрольного рівня) саме у 21-річних спортсменів, що може свідчити про більшу тренуваність серця та адекватну реакцію на фізичне навантаження.

Таблиця 2

Вікові зміни деяких функціональних параметрів серцево-судинної системи у спортсменів після дозованого фізичного навантаження

Параметри	Вік в роках			
	18 (1 група)	19 (2 група)	20 (3 група)	21 (4 група)
Частота серцевих скорочень (ЧСС), л/хв	104,5±2,1 ^{#&•}	90,0±3,1 [*]	91,4±1,4 [*]	93,0 ± 2,8 [*]
Систолічний об'єм (СО), мл	86,3±1,9 ^{&}	81,6±1,1 [#]	79,9±1,4 ^{*#}	86,5±2,1 ^{&}
Хвилинний об'єм кровотоку (ХОК), л	8,6±0,3 ^{#&•}	7,7±0,4 ^{*&•}	7,3±0,3 ^{*#}	8,4±0,9 ^{#&}
Систолічний артеріальний тиск (САТ), мм рт.ст.	157,5±2,5 ^{#&•}	165,0±0,5 ^{*&•}	165,0±2,5 [*]	170,0±2,0 ^{*#}
Діастолічний артеріальний тиск (ДАТ), мм рт.ст.	80,0±1,0 [•]	80,0±0,2 [•]	90,0±1,0 ^{*&•}	85,0±0,5 ^{*&}
Пульсовий тиск (ПТ), мм рт.ст.	77,5±3,0 [*]	70,0±2,0 [*]	75,0±2,0 [*]	85,0±2,5 [*]
Середньо-динамічний тиск (СДТ), мм рт.ст.	105,8±0,6 ^{#&•}	103,3±0,7 ^{*&•}	115,0±1,0 ^{*#}	113,3±0,3 ^{*#}

Примітки: * - різниця достовірна з 1 групою - $p < 0,05$; # - різниця достовірна з 2 групою - $p < 0,05$; & - різниця достовірна з 3 групою - $p < 0,05$; • - різниця достовірна з 4 групою - $p < 0,05$.

Порівнюючи вікові зміни величини систолічного тиску, можна помітити, що максимальні значення САТ зареєстровано у спортсменів 21 року. Однак, найбільш виражене відносно від стану до ДФН збільшення тиску систоли мало місце у 19-річних спортсменів (див. табл. 1, 2).

Щодо пульсового тиску то слід зазначити, що з віком пульсовий тиск має тенденцію до збільшення і максимальне значення після виконання м'язової роботи було у 21-річних спортсменів. Такі зміни визначаються переважно за рахунок динаміки систолічного тиску, а не діастолічного.

Найбільше зростання систолічного об'єму крові було також відзначено у 21-річних спортсменів, які займаються легкою атлетикою, і склало 45%. Таке значне зростання

у 21-річних спортсменів-легкоатлетів, ймовірно, зумовлене тим, що їхнє серце працює більш ефективно, що спостерігається і стосовно деяких інших параметрів. Можливо, це також обумовлено і завершеним віковим дозріванням адаптивних можливостей і функцій системи кровообігу.

Таким чином, було виявлено, що у спортсменів систолічний тиск із віком демонструє динаміку стрибкоподібних змін, найбільшу величину цього параметру зареєстровано у 18-річних, тоді як у нетренованих студентів найбільше значення відзначалося у 21-річних.

Діастолічний тиск у спортсменів і нетренованих студентів змінювався з віком хвилеподібно, найбільше значення відзначалося у 21-річних осіб. Середній динамічний тиск у спортсменів і студентів у вихідному стані змінювався стрибкоподібно, найбільша величина цього параметру відзначалася також у 21-річних студентів та спортсменів. Динаміка змін систолічного обсягу у стані спокою у студентів та спортсменів характеризувалася хвилеподібним характером змін з віком, у спортсменів його величина була більшою в усіх вікових групах. Подібна стрибкоподібна та хвилеподібна динаміка змін вимірних параметрів була притаманною для більшості показників незалежно від віку та ступеня тренуваності осіб.

У попередніх дослідженнях мікроциркуляції крові [16] було встановлено, що обстежених студентів та спортсменів кожної вікової групи необхідно було розподілити згідно вихідним величинам показника мікроциркуляції на дві підгрупи. До 1 підгрупи входили особи, у яких значення показника мікроциркуляції крові коливалися від 0,5 пф. од. до 10 пф. од. У 2 підгрупі показник мікроциркуляції коливався від 12 до 25 пф. од. (рис. 1). Наступні дослідження виявили, що такий поділ був повністю виправданим, оскільки величини та зміни інших параметрів, що характеризують мікроциркуляцію, в обох підгрупах також суттєво відрізнялися.

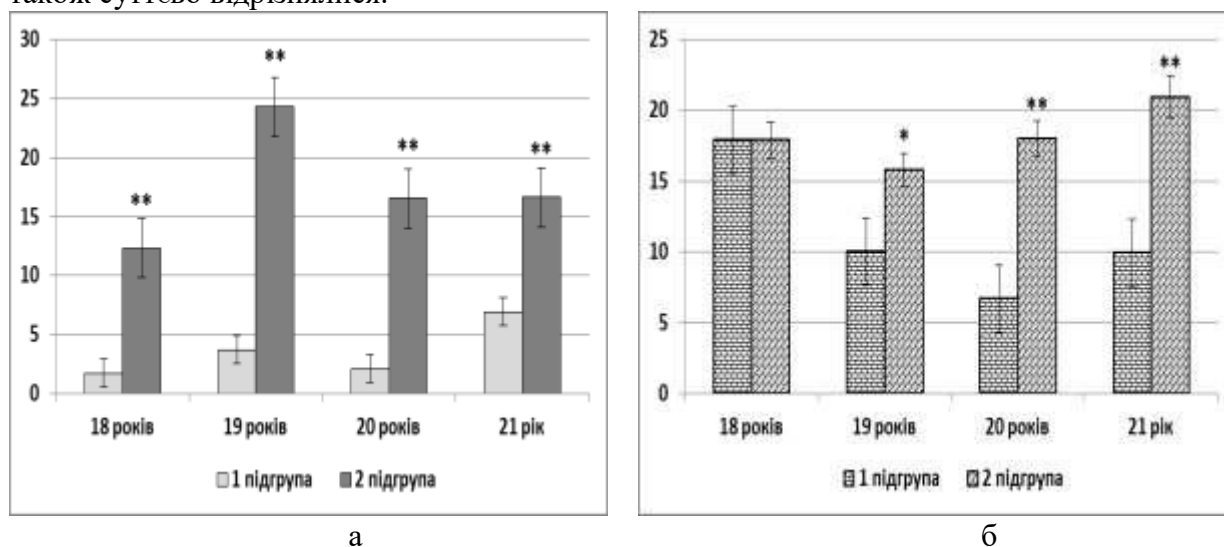


Рис. 1 Вікові зміни параметра мікроциркуляції у студентів (а) та спортсменів (б) до дозованого фізичного навантаження. Вірогідність різниці між 1 та 2 підгрупами: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$.

Таким чином, слід підкреслити, що величини параметрів суттєво відрізнялися залежності від приналежності юнаків до 1 або 2 підгрупи, а отже, і від величини показника мікроциркуляції, тобто, від рівня перфузії одиниці об'єму тканини за одиницю часу. Відмічені особливості функції серцево-судинної системи, скоріше за все, спричинені змінами будови і функціонування мікроциркуляторного русла. Так, параметр мікроциркуляції у студентів 1 та 2 підгруп у вихідному стані, у віковому порівнянні змінювався стрибкоподібно, величина змін була більш виражена у студентів 2 підгрупи. У спортсменів

величина цього параметру була найвищою у всіх вікових групах, порівняно з нетренованими студентами. Середнє квадратичне відхилення було вищим у студентів 2 підгрупи (у віковому порівнянні), у спортсменів 2 підгрупи воно було вищим у 20-річних. У студентів обох підгруп та у спортсменів 1 підгрупи (особливо у 21-річних) після виконання дозованої фізичної роботи відзначається зниження ефективності регуляції кровотоку. У спортсменів 2 підгрупи зареєстровано покращення ефективності регуляції кровотоку за рахунок переважання активних механізмів регуляції.

Висновки.

1. Величина хвилинного об'єму крові у спортсменів-легкоатлетів була вищою, ніж у студентів у всіх вікових групах. Означений параметр після виконання дозованого фізичного навантаження демонструє тенденцію до збільшення у всіх вікових групах, як у нетренованих осіб, так і спортсменів. Втім, найбільший його приріст відзначається у спортсменів, що характеризує адаптивні пристосування їх системи кровообігу до регулярного виконання фізичної роботи.

2. Зростання хвилинного об'єму крові опосередковується величиною систолічного об'єму, котрий після дозованого навантаження збільшувався у спортсменів та студентів в усіх вікових групах різною мірою, однак, найбільше зростання спостерігалось у спортсменів, що свідчить про адаптацію серцево-судинної системи до фізичних навантажень. Таким чином, реакція серцево-судинної системи нетренованих студентів і спортсменів на фізичне навантаження свідчить про те, що у спортсменів вона працює більш економічно і ефективно.

3. Величини параметрів, які визначають мікроциркуляцію крові, суттєво відрізняється залежно від приналежності юнаків до 1 або 2 підгрупи, а отже від величини показника мікроциркуляції, тобто від рівня перфузії одиниці об'єму тканини за одиницю часу. В більшості випадків у юнаків 2 підгрупи при ДФН спостерігається покращення ефективності регуляції кровотоку за рахунок переважання активних механізмів регуляції.

Перспективи подальших досліджень.

Виявлені закономірності змін макро- та мікроциркуляції у відповідь на дозоване фізичне навантаження в залежності від ступеня тренуваності організму актуалізують проведення подальших додаткових досліджень і корекції тренувального процесу спортсменів-легкоатлетів залежно від тренуваності юнаків, навіть за наявності незначних відмінностей за їх віком.

Список використаної літератури

1. Pelliccia A., Sharma S., Gati S., Bäck M., Börjesson M., Caselli S. et al. Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. *Eur Heart J.* 2021. Vol. 42, № 1. P. 17 - 96. doi: 10.1093/eurheartj/ehaa605.
2. Campbell B. I., Norton L. Effectiveness of Diet Refeeds and Diet Breaks as a Precontest Strategy Guillermo Escalante. *Strength and Conditioning Journal.* 2020. № 3. P. 1 - 6. doi: 10.1519/SSC.0000000000000546.
3. Maden-Wilkinson T. M., Balshaw T. G., Massey G. J., Folland J. P. Muscle architecture and morphology as determinants of explosive strength. *European Journal of Applied Physiology.* 2021. № 121. P. 1099 – 1110.
4. Ghorayeb N., Stein R., Daher D. J., da Silveira A. D., Ritt L. E., dos Santos D. F., Sierra A. P. The Brazilian Society of Cardiology and Brazilian Society of Exercise and Sports Medicine Updated Guidelines for Sports and Exercise Cardiology. *Bras Cardiol.* 2019. Vol. 112, № 3. P. 326 – 368.
5. Kalabiska I., Zsakai A., Annar D., Malina R. M., Szabo T. Sport Activity Load and Skeletomuscular Robustness in Elite Youth Athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 2022. Vol. 19, № 9. P. 5083.
6. Franchi M. V., Reeves N. D., Narici M. V. Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Front Physiol.* 2017. Vol. 4, № 8. P. 447. doi: 10.3389/fphys.2017.00447.
7. Віннічук Ю. Д., Поліщук А. О., Гошовська Ю. В., Соколова О. С., Сагач В. Ф., Дроздовська С. Б. Зміни в біохімічні показники та мітохондріальний фактор крові спортсменів-любителів під впливом марафонського бігу. *Фізіологічний журнал.* 2019. Т. 65, № 5. С. 20 - 7.

8. Cuccione E., Versace A., Cho T.-H., Carone D., Berner L.-P., Ong E. et al. Multisite laser Doppler flowmetry for assessing collateral flow in experimental ischemic stroke: Validation of outcome prediction with acute MRI. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2017. Vol. 37, № 6. P. 2159 – 2170.
9. Joyner M. J., Casey D. P. Regulation of Increased Blood Flow (Hyperemia) to Muscles During Exercise: Hierarchy of Competing Physiological Needs. *Physiol Rev.* 2015. Vol. 95, № 2. P. 549 – 601.
10. Koller A., Laughlin M. H., Cenko E., de Wit C., Tóth K., Bugiardini R. et al. Functional and structural adaptations of the coronary macro- and microvasculature to regular aerobic exercise by activation of physiological, cellular, and molecular mechanisms: SC Working Group on Coronary Pathophysiology and Microcirculation position paper. *Cardiovasc Res.* 2022. Vol. 118, № 2. P. 357 – 371.
11. Chen R., Yang M. S., Liu C., Zhang J., Ke J., Deng Y. et al. Cardiovascular Indicators of Systemic Circulation and Acute Mountain Sickness: An Observational Cohort Study. *Front. Physiol. Environmental, Aviation and Space Physiology.* 2021. 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.708862>.
12. Brotmachbp L. American heart association. Evaluation of Derivation of Cardiac Output from Blood Pressure Measurements. 2005. <https://www.semanticscholar.org/paper/ofL-american-heart-association-evaluation-of-of-Brotmachbp/2e7046069024b328bd5a024f61d3d795e6655025>.
13. Gluckman P. D., Hanson M. A. Evolution, development and timing of puberty. Trends in endocrinology and metabolism. *TEM.* 2006. Vol. 17. № 1. P. 7 – 12. doi:10.1016/j.tem.2005.11.006.
14. Salomão L. P., Magalhães G. S., Pinho da Silva J. F. et al. Factors associated with arterial stiffness assessed by pulse pressure amplification in healthy children and adolescents: a cross-sectional study. *BMC Pediatr.* 2023. № 23. P. 154.
15. Zarebska E. A., Kusy K., Stominska E. M., Kruszyna L., Zielinski J. Alterations in Exercise-Induced Plasma Adenosine Triphosphate Concentration in Highly Trained Athletes in a One-Year Training Cycle. *Metabolites.* 2019. Vol. 9, № 10. P. 230.
16. Розова К. В., Тимошенко К. Р., Сидоряк Н. Г. Особливості мікроциркуляції крові, морфофункціонального стану капілярів та мітохондрій у м'язовій тканині при дозованому фізичному навантаженні. *Український журнал медицини, біології та спорту.* 2018. Т. 3. № 4. С. 199 - 205.

References

1. Pelliccia A., Sharma S., Gati S., Bäck M., Börjesson M., Caselli S. et al. (2021) Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. *Eur Heart J.* Vol. 42. № 1. P. 17 - 96. doi: 10.1093/eurheartj/ehaa605.
2. Campbell B. I., Norton L. (2020) Effectiveness of Diet Refeeds and Diet Breaks as a Precontest Strategy Guillermo Escalante. *Strength and Conditioning Journal.* № 3. P. 1 - 6. doi: 10.1519/SSC.0000000000000546.
3. Maden-Wilkinson T. M., Balshaw T. G., Massey G. J., Folland J. P. (2021) Muscle architecture and morphology as determinants of explosive strength. *European Journal of Applied Physiology.* № 121. P. 1099 – 1110.
4. Ghorayeb N., Stein R., Daher D. J., da Silveira A. D., Ritt L. E., dos Santos D. F., Sierra A. P. (2019) The Brazilian Society of Cardiology and Brazilian Society of Exercise and Sports Medicine Updated Guidelines for Sports and Exercise Cardiology. *Bras Cardiol.* Vol. 112. № 3. P. 326 – 368.
5. Kalabiska I., Zsakai A., Annar D., Malina R. M., Szabo T. (2022) Sport Activity Load and Skeletomuscular Robustness in Elite Youth Athletes. *Int J Environ Res Public Health.* Vol. 19. № 9. P. 5083.
6. Franchi M. V., Reeves N. D., Narici M. V. (2017) Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Front Physiol.* Vol. 4. № 8. P. 447. doi: 10.3389/fphys.2017.00447.
7. Vinnichuk Yu. D., Polishchuk A. O., Hoshovska Yu. V., Sokolova O. S., Sahach V. F., Drozdovska S. B. (2019) Zminy v biokhimichni pokaznyky ta mitokhondrialnyi faktor krovi sportsmeniv-liubyteliv pid vplyvom marafonskoho bihu. *Fiziologichnyi zhurnal.* T. 65. № 5. С. 20 - 7. [in Ukrainian].
8. Cuccione E., Versace A., Cho T.-H., Carone D., Berner L.-P., Ong E. et al. (2017) Multisite laser Doppler flowmetry for assessing collateral flow in experimental ischemic stroke: Validation of outcome prediction with acute MRI. *J Cereb Blood Flow Metab.* Vol. 37. № 6. P. 2159 – 2170.
9. Joyner M. J., Casey D. P. (2015) Regulation of Increased Blood Flow (Hyperemia) to Muscles During Exercise: Hierarchy of Competing Physiological Needs. *Physiol Rev.* Vol. 95. № 2. P. 549 – 601.
10. Koller A., Laughlin M. H., Cenko E., de Wit C., Tóth K., Bugiardini R. et al. (2022) Functional and structural adaptations of the coronary macro- and microvasculature to regular aerobic exercise by activation of physiological, cellular, and molecular mechanisms: SC Working Group on Coronary Pathophysiology and Microcirculation position paper. *Cardiovasc Res.* Vol. 118. № 2. P. 357 – 371.
11. Chen R., Yang M. S., Liu C., Zhang J., Ke J., Deng Y. et al. (2021) Cardiovascular Indicators of Systemic Circulation and Acute Mountain Sickness: An Observational Cohort Study. *Front. Physiol. Environmental, Aviation and Space Physiology.* 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.708862>.
12. Brotmachbp L. (2005) American heart association. Evaluation of Derivation of Cardiac Output from Blood Pressure Measurements. <https://www.semanticscholar.org/paper/ofL-american-heart-association-evaluation-of-of-Brotmachbp/2e7046069024b328bd5a024f61d3d795e6655025>.

13. Gluckman P. D., Hanson M. A. (2006) Evolution, development and timing of puberty. Trends in endocrinology and metabolism. *TEM*. Vol. 17. № 1. P. 7 – 12. doi:10.1016/j.tem.2005.11.006.
14. Salomão L. P., Magalhães G. S., Pinho da Silva J. F. et al. (2023) Factors associated with arterial stiffness assessed by pulse pressure amplification in healthy children and adolescents: a cross-sectional study. *BMC Pediatr*. № 23. P. 154. doi: 10.1186/s12887-023-03942-1.
15. Zarebska E. A., Kusy K., Stominska E. M., Kruszyna L., Zielinski J. (2019) Alterations in Exercise-Induced Plasma Adenosine Triphosphate Concentration in Highly Trained Athletes in a One-Year Training Cycle. *Metabolites*. Vol. 9, № 10. P. 230.
16. Rozova K. V., Tymoshenko K. R., Sydoriak N. H. (2018) Osoblyvosti mikrocyrkulatsii krovi, morfofunktsionalnoho stanu kapiliariv ta mitokhondrii u miazovii tkanyni pry dozovanomu fizychnomu navantazheni. *Ukrainskyi zhurnal medytsyny, biolohii ta sportu*. T. 3. № 4. С. 199 - 205. [in Ukrainian].

Korman Sh.-A., Lukyantseva H. V. AGE CHANGES IN MACRO- AND MICROCIRCULATION OF BLOOD UNDER THE INFLUENCE OF DOSED PHYSICAL TRAINING DEPENDING ON THE DEGREE OF TRAINING OF THE ORGANISM

Introduction. *The formation of the reaction of circulatory system to physical exertion is determined by the features of the regulation mechanisms of central hemodynamics and blood microcirculation. It is known that peripheral blood circulation provides the basis for the normal vital activity of organs and systems, the full functioning of cellular elements under various influences on the body, including during physical exertion. However, the study of the reactivity of the microcirculatory system under the conditions of muscle activity requires a clear understanding of the mechanisms of changes in all links of the circulatory system. The data available in the modern literature indicate that the mechanisms underlying changes in the macro- and microcirculatory system after physical exertion in people of different ages and different degrees of training.*

Purpose: *to determine the characteristics of the reaction of macro- and microcirculation of blood to dosed physical activity in people of different ages and different degrees of training.*

Methods. *Peculiarities of systemic blood circulation and microcirculation during dosed physical exertion depending on the degree of training of the body were studied in men aged 18-21, trained (athletes at the level of candidates for master of sports) and untrained persons of the same age. An Ergoselect 100 bicycle ergometer (Ergoline GmbH, Ukraine) with automatic blood pressure measurement was used to simulate muscle work. Blood microcirculation (BCC) was assessed using laser Doppler flowmetry using a VLF 21 device (Transonic System Inc., USA). Statistical processing of the obtained results was carried out using the STATISTICA 6.0 program and presented as "mean value \pm standard error of the mean" ($M \pm SEM$). The Shapiro-Wilk test was used to determine the normality of the data sampling distribution. To assess the reliability of the results, one-way ANOVA was used and the probability of differences between indicators was estimated. Differences at $p < 0.05$ were considered probable.*

Result. *It was shown that the minute volume of blood in athletes is higher than in students in all age groups. After performing dosed physical activity, this indicator increases in all age groups and in students and athletes, however, the greatest increase is noted in athletes. The increase in minute blood volume is mediated, which may indicate the adaptation of the cardiovascular system to physical exertion. That is, the cardiovascular system of athletes works more economically and efficiently.*

Conclusion. *The values of indicators that determine blood microcirculation differ significantly depending on the value of the microcirculation indicator, that is, on the level of perfusion of a unit of tissue volume per unit of time. In most cases, in young men with higher values of the microcirculation index during dosed physical exertion, there is an improvement in the efficiency of blood flow regulation due to the predominance of active regulation mechanisms.*

Key words: *dosed physical activity, cardiovascular system, macrocirculation, microcirculation, students, athletes.*

Одержано редакцією: 20.02.2024
Прийнято до публікації: 21.03.2024

УДК 597.11+597.556(477.41/.42)+(282.2)
DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-72-78

Юлія Костянтинівна Куцоконь

Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України
carassius1@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9721-5638>

Анастасія Євгенівна Шух

Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України
fg54ilwgor3sa@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9567-0776>

Анатолій Михайлович Романь

Інститут гідробіології НАН України
aroman.fish@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6270-8141>

Микола Миколайович Щербатюк

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України
chrom.botany@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6453-228X>

СУЧАСНИЙ СКЛАД ІХТІОФАУНИ РІЧКИ ЧУМГАК (БАСЕЙН СУЛИ)

Встановлено сучасний видовий склад риб басейну річки Чумгак, басейн Сули, в межах Черкаської та Полтавської областей. Матеріал зібрано у 2017 та 2023 рр. на шести локаціях. Знайдено 16 видів риб, більшість з яких характерні для сусідніх басейнів (Удаю, Супою, малих приток Кременчуцького водосховища) та для басейну Сули загалом. За чисельністю серед досліджених особин домінували чебачок амурський (29,6%) та карась сріблястий (20,4%). Найпоширенішими були карась сріблястий (4 станції), чебачок амурський та вівсянка – по три станції. Найбільше, 9 видів, виявлено для нижньої ділянки річки в Полтавській області. Найменше, 1 вид, карась сріблястий, виявлено у верхів'ї Чумгака, с. Ковалівка. На всіх інших локаціях відмічено від 2 до 6 видів. Види, занесені до поточного переліку «Червоної книги України», у басейні відсутні. Знайдено три види з Резолюції 6 Бернської конвенції (щипавка звичайна, гірчак європейський, в'юн звичайний). Два чужорідні види (чебачок амурський, карась сріблястий) чисельні та поширені за рахунок невеликих рибних господарств. Інший, небезпечний чужорідний інвазивний вид, ротань-головешка, виявлений поки в одному місці, в р. Чумгак, у межах с. Ковтунівка. Виявлено два види неолімнетиків (колючка південна, бичок-цуцик західний), що поширилися з Дніпра. 11 видів є аборигенними, однак, за чисельністю переважають чужорідні види за рахунок їхньої більшої представленості у верхній частині басейну. Найціннішою ділянкою з природоохоронної точки зору є нижня течія Чумгака, де нами не виявлені чужорідні види, але присутні цінні реофільні за рахунок наявної течії. Інша частина басейну – це в основному стоячі водойми, де виживають витривалі невеликих розмірів види риб.

Ключові слова: басейн Дніпра, аборигенні види риб, чужорідні види риб, Черкаська область, Полтавська область

Постановка проблеми, аналіз останніх публікацій. Чумгак – притока Дніпра третього порядку. Зливаючись із Сухою Оржицею, він утворює Оржицю, яка, в свою чергу, тече до Сули. Довжина річки – 72 км, площа водозбірного басейну – 845 км². Похил річки 0,49 м/км. Долина коритоподібна, завширшки 2,5 км, завглибшки до 15 м. Заплава частково осушена, завширшки до 500 – 600 м. Річище звивисте, завширшки 5 – 10 м, на значному протязі відрегульоване. Використовується для технічних потреб. Є заплавні озера, шлюзи-регулятори, ставки. Чумгак протікає через Київську, Черкаську та Полтавську області, має кілька невеликих приток, одна з яких Боярка (приблизно 12 км довжиною). Басейн Чумгака розташований у лісостеповій природній зоні [3].

Літературні дані стосовно рибного населення Сули узагальнені в роботі Мовчана, Романа [8]. Автори зазначають до 39 видів риб для всього басейну річки на сучасному етапі. Один із близьких суббасейнів, Удаю, досліджений у роботах Подобала [9], Готової та ін. [2]. У верхів'ях із заходу до басейну Чумгака прилягає також басейн Супою, де виявлено 21 вид риб на сучасному етапі [6], середня та нижня частини межують з малими притоками Кременчуцького водосховища, де разом відмічено 16 видів риб [5]. Стосовно іхтіофауни безпосередньо Чумгака, то при аналізі міжнародної бази даних GBIF виявлено дані С.В. Кокодія за 2009 рік [12], який зафіксував карася сріблястого для с. Шрамківка. Також там наведені деякі наші дані, за 2017 та 2023 рр. [14; 15].

Отже, наукових публікацій саме щодо риб Чумгака нам знайти не вдалося, лише для узагальненого басейну Сули та деяких інших сусідніх басейнів. Однак, аналіз сучасного стану рибного населення цієї малої річки дозволить оцінити роль подібних водойм для збереження рідкісних та небажаного поширення інвазивних чужорідних видів.

Мета роботи: встановити сучасний видовий склад рибного населення річки Чумгак.

Матеріал та методи дослідження. Дослідження були проведені у травні 2017 р., червні, серпні 2023 р. на Чумгаку та двох його притоках. Більшість локалітетів (1–5, рис.1, табл.1) розташовані в Черкаській області, в Шрамківській ОТГ. Один локалітет – у Полтавській області, в нижній частині річки (6, рис.1, табл.1). Всього виявлено 250 особин 16 видів риб.



Рисунок 1. Розташування басейну Чумгака та місця проведення досліджень. Номери подано згідно таблиці 1.

Локалітети мали наступні умови. Чумгак, Ковалівка – в місці лову дно кам'янисте з замулом, берег зарослий очеретом і рогозом, течія відсутня, глибина до 1,5 м.

Чумгак, Шрамківка – в місці лову є невелика гребля, вище ставок, нижче русло частково заросле очеретом, дно помірно замулене, заросле нитчастими водоростями, рдестом. Течія, після впливу скиду із ставка, повільна, майже невідчутна, глибина до 1,5 м.

Чумгак, Ковтунівка – дно мулисте, течія присутня, водні рослини – ряска, глечики, стрілолист, їжача голівка. Глибина до 2 м.

Малий Чумгак, Яворівка – течія відсутня, біля берега русло сильно заросле очеретом та рогозом. Глибина до 1,5 м, дно мулисте.

Боярка, Кантакузівка – річка перегороджена загатою, вище русло заросле очеретом, рогозом та куширем, дно дуже мулисте. Нижче рівень води піднятий, затоплені дерева. Течія відсутня, глибина до 1 м на нижній ділянці.

Чумгак, Круподеринці – в місці досліджень невелика загата, вище рівень трохи піднятий. Ширина русла до 10 м, заросле лепехою, глечиками, елодеєю. Течія швидка, дно біля берега мулисте, глинисте, на течії твердіше, з камінцями і мушлями молюсків. Заплава каналізована.

Таблиця 1.

Місця проведення досліджень у басейні річки Чумгак

	Водойма, локалітет	широта	довгота	Роки
1	Чумгак, Ковалівка	50.165747	32.063040	2023
2	Чумгак, Шрамківка	50.133075	32.118347	2017, 2023
3	Чумгак, Ковтунівка	50.020858	32.270854	2023
4	Малий Чумгак, Яворівка	50.131384	32.058712	2023
5	Боярка, Кантакузівка	50.083034	32.136126	2017, 2023
6	Чумгак, Круподеринці	49.926573	32.493220	2017

Польові дослідження здійснювались підсаком для лову живця із вічком 0,5 см. Риби, після визначення видової належності за визначниками [7, 13] були випущені назад до водойм, за винятком чужорідних видів. Для кожної локації було підраховано відсоткове співвідношення видів за кількістю особин. Крім того, ми підраховували частоту трапляння (F) для кожного виду, тобто кількість водойм, у яких вид присутній. Українські назви риб подано за публікацією Куцоконь, Квача [4].

Результати та їх обговорення. Під час досліджень виявлено 16 видів риб (табл.2). Найпоширенішими видами були карась сріблястий (*Carassius gibelio*) (4 локації), чебачок амурський (*Pseudorasbora parva*), вівсянка (*Leucaspis delineatus*) – по три локації. 12 видів виявлені лише на одному місці, що може свідчити як про певну фрагментарність наших досліджень, однак також про відмінність умов на локаціях та збіднення видового складу, невисоку чисельність риб загалом.

На локаціях виявлено різну кількість видів. Найбільше, 9 видів, зафіксовано для нижньої ділянки річки. Шість видів знайдено в Шрамківці, де також, хоч і фрагментарно, але присутня течія, чотири види – в Ковтунівці. Інші локалітети налічують 1-2 види.

Щодо чисельності окремих видів у дослідженнях, то домінували чебачок амурський (29,6 %) і карась сріблястий (20,4 %). Обидва види є наслідком впливу рибного господарства, оскільки карась сріблястий є об'єктом для вирощування у невеликих ставках, яких тут вдосталь, а чебачок амурський – небажаний інвазивний чужорідний вид, яким часто забруднений посадковий матеріал, оскільки молодь його подібна до молоді об'єктів рибиництва. Дрібно розмірні вівсянка (16,8 %) та колючка південна (*Pungitius platygaster*) (10,0 %) також чисельні в наших дослідженнях. Загалом, серед виявлених видів майже всі є малих розмірів, (максимальні відомі їх величини до 10 – 15 см), а ті, що здатні виростати більшими за сприятливих умов (плітка звичайна (*Rutilus rutilus*), краснопірка звичайна (*Scardinius erythrophthalmus*), лин (*Tinca tinca*), окунь звичайний (*Perca fluviatilis*)) представлені особинами невеликих розмірів.

Серед знайдених нами видів переважають представники родини коропових – 9 видів, 2 види з родини щипавкові, інші родини мають по 1 представнику (слижеві, колючкові, окуневі, головешкові, бичкові).

За переважаннями до біотопу переважають придонні та види, що живуть серед водних рослин – по 6 видів, менше пелагіальних та донно-пелагіальних – по 2 види.

За своїм відношенням до течії переважають лімнофільні види (7 видів), загально-прісноводні види (6 видів), реофілів – 3 види, що відмічені лише в нижній ділянці річки. За вимогами до розчиненого у воді кисню виділяють риб з високими, середніми, низькими та дуже низькими вимогами. Серед досліджених видів переважають із середніми (7 видів),

менше – із низькими та дуже низькими (по 4 види), з високими вимогами до кисню у воді – лише один вид, слиж європейський (*Barbatula barbatula*). За основними об'єктами живлення переважають бентофаги – 10 видів, менше фітопланктофагів та зоопланктофагів (по два види), один вид, окунь звичайний, є хижаком, ще один вид, ротань-головешка (*Perccottus glenii*) є і бентофагом, і хижаком на різних етапах розвитку.

Таблиця 2. Розподіл видів риб у басейні р. Чумгак. Номери локацій з табл.1

Вид	1	2	3	4	5	6	D, %	F
<i>Alburnus alburnus</i> – верховодка звичайна						+	0,4	1
<i>Carassius gibelio</i> – карась сріблястий*	+	+		+	+		20,4	4
<i>Gobio gobio</i> – пічкур звичайний						+	1,6	1
<i>Leucaspis delineatus</i> – вівсянка		+	+			+	16,8	3
<i>Pseudorasbora parva</i> – чебачок амурський*		+		+	+		29,6	3
<i>Rhodeus amarus</i> – гірчак європейський**						+	5,6	1
<i>Rutilus rutilus</i> – плітка звичайна						+	0,4	1
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> – краснопірка звичайна						+	0,4	1
<i>Tinca tinca</i> – лин			+				0,4	1
<i>Barbatula barbatula</i> – слиж європейський						+	4,0	1
<i>Cobitis taenia</i> – щипавка звичайна**						+	2,8	1
<i>Misgurnus fossilis</i> – в'юн звичайний**		+					2,8	1
<i>Pungitius platygaster</i> – колючка південна		+	+				10,0	2
<i>Perca fluviatilis</i> – окунь звичайний		+					4,0	1
<i>Perccottus glenii</i> – ротань-головешка*			+				0,4	1
<i>Proterorhinus semilunaris</i> – бичок-цуцик західний						+	0,4	1
Всього: 16 видів	1	6	4	2	2	9		

+ - присутність виду, * – чужорідні види, ** – види Резолюції 6.

За строками нересту переважають весняно-літні, 14 видів, Весняно-нерестуючих всього 2 види. У досліджених водоймах значну частину становлять риби з порційним нерестом, 13 видів. Одноразово нерестуючих всього 3 види.

Більшість видів, всього 10, належать до екологічної групи фітофілів, що надає перевагу рослинам як нерестовому субстрату. Один вид, окунь звичайний, індіферент щодо нерестового субстрату, літофілів та псамофілів по два види, один вид, гірчак європейський (*Rhodeus amarus*), остракофіл.

Крім гірчака європейського, який відкладає ікру в молюсків, активну турботу про потомство, а саме охорону кладки, здійснюють також чебачок амурський, колючка південна, ротань-головешка та бичок-цуцик західний (*Proterorhinus semilunaris*).

Резолюція 6 Бернської конвенції включає такі з досліджених видів: гірчак європейський, щипавка звичайна (*Cobitis taenia*), в'юн звичайний (*Misgurnus fossilis*) [1]. Гірчак звичайний, щипавка звичайна знайдені лише в нижній частині Чумгака, вже в межах Полтавщини. В'юн виявлений у Шрамківці, при чому як в 2017, так і в 2023 рр.

Більшість видів, всього 11, є аборигенними, проте їхня загальна чисельність близько 39%. Чужорідні види, карась сріблястий і чебачок амурський є наймасовішими та поширеними в басейні Чумгака. Точково виявлено ротаня-головешку, однак він поширюється й іншими сусідніми басейнами, що не може не викликати занепокоєння. Разом за чисельністю досліджених особин ці три види становлять близько 50%. Саморозселенцями із Дніпра, так званими неолімнетиками, є бичок-цуцик західний та колючка південна (рис. 2).

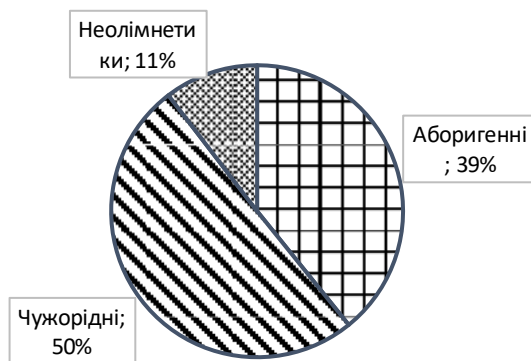


Рис. 2. Співвідношення між різними за походженням видами риб басейну Чумгака (за кількістю досліджених особин)

Порівняння з сусідніми басейнами. Загалом, всі ці види, крім ротаня-головешки, згадані в роботі Мовчана, Романа для Сули [8], базуючись на літературних і музейних даних. Для басейну Удаю в більш раніх роботах теж відсутній ротань-головешка [2, 9], однак наразі він вже є як в самому Удаї, так і в басейні [11]. Також до Удаю не доходить бичок-цуцик західний [2, 9]. Натомість, у Супої наявні майже всі види, що і в Чумгаку, хіба що останнім часом не виявлено лина [6]. Доволі схожі за умовами малі річки міжріччя Супою та Сули, в яких сумарно теж налічується 16 видів риб, і більшість з них такі самі, як і в Чумгаку. Однак, в них були відсутні верховодка звичайна (*Alburnus alburnus*), слиж європейський та ротань-головешка [5].

Висновки. Нами знайдено 16 видів риб для басейну Чумгака. Видів, занесених до поточного переліку «Червоної книги України» [10], не знайдено. Проте відмічено присутність трьох видів, занесених до Резолюції 6 Бернської конвенції: гірчак європейський, щипавка звичайна та в'юн звичайний. Також присутні цінні реофільні види, в пониззі річки. Загалом, нижня ділянка відрізняється більшим різноманіттям видів та відсутністю чужорідних видів, що пов'язано з проточністю та близькістю до гирла. Таким чином, вона є найважливішою у природоохоронному плані. Інша частина басейну – це часом стоячі водойми, де виживають витривалі невеликих розмірів види риб. Викликає занепокоєння поширення чебачка амурського та його відносно велика частка серед досліджених риб. Відмічено поширення іншого інвазивного чужорідного виду – ротаня-головешки. Подібні процеси відбуваються також і в сусідніх басейнах.

Подяки. Автори дякують Олександрові Розанову, Святославу Щербатюку за допомогу в експедиційних виїздах.

Список використаної літератури

1. Годлевська О., Парнікоза І., Різун В., Фесенко Г., Куцоконь Ю., Загороднюк І., Шевченко М., Іноземцева Д. *Фауна України: охоронні категорії. Довідник*. Київ, 2010. 80 с.
2. Глотова Н., Куцоконь Ю., Подобайло А. Розподіл дрібно розмірного рибного населення на мілководдях річки Удаї НПП «Пирятинський» // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Біологія*. 2012. Вип. 61. С. 10-11.
3. *Каталог річок України* / Г.І. Швець, Н.І. Дрозд, С.П. Левченко; Відп. ред. В.І. Мокляк. Київ, Вид-во АН УРСР, 1957. 192 с.
4. Куцоконь Ю.К., Квач Ю.В. Українські назви міног і риб фауни України для наукового вжитку. *Біологічні студії*. 2012. Т. 6, № 2. С. 199–220.
5. Куцоконь Ю.К., Романь А.М. Риби малих приток Кременчуцького водосховища в міжріччі Супою та Сули // *Сучасні проблеми теоретичної та практичної іхтіології*. Тези X Міжнародної іхтіологічної науково-практичної конференції (Київ-Канів, 19 – 21 вересня 2017 р.). Херсон: Видавець Грінь Д.С., 2017. С. 85 – 89.

6. Куцоконь Ю.К., Циба А.О., Подобайло А.В., Паньков А.В. Сучасний видовий склад рибного населення лівих приток Середнього Дніпра: Супою та Трубежа // *Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія. (Біологічні системи)*. 2016. Т. 8, вип. 2. С. 228 – 232.
7. Мовчан Ю.В. *Риби України*. Київ: Золоті ворота, 2011. 444 с.
8. Мовчан Ю.В., Романь А.М. Сучасний склад іхтіофауни басейну Середнього Дніпра (фауністичний огляд). *Збірник праць Зоологічного музею*. 2014. № 45. С. 25–45.
9. Подобайло А.В. Рибне населення середньої течії р. Удай // *Сучасні проблеми теоретичної та практичної іхтіології*. Тези I Міжнародної іхтіологічної науково-практичної конференції. Канів. 2008. С. 115-118.
10. *Червона книга України. Тваринний світ*. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 600 с.
11. Шух А.Є., Куцоконь Ю.К. Інвазивні чужорідні види риб – деякі локації масового скупчення // *Знахідки чужорідних видів рослин та тварин в Україні*. (Серія: «Conservation Biology 3-75 in Ukraine». Вип. 29). Київ; Чернівці: Друк Арт, 2023. С. 502 – 503.
12. Kokodii S. Ichthyofauna of main rivers and floodplain lakes in Ukraine. 2023. Version 1.10. Ukrainian Nature Conservation Group (NGO). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/fs4k7v> accessed via GBIF.org on 2024-04-28.
13. Kottelat M., Freyhof J. *Handbook of European freshwater fishes*. Switzerland: Delemont, 2007. 646 p.
14. Kutsokon Y, Didenko O, Kvach Y, Shukh A, Yuryshynets V, Bekh V V, Buzevych O A, Gurbyk O, Leuskyi M V, Maksymenko M L, Marushchak O. Invasive and neolimnetic fish species in Dnipro, Danube and some others basins (Ukraine, 2022-2023). 2023. Ukrainian Nature Conservation Group (NGO). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/g3majn> accessed via GBIF.org on 2024-04-28.
15. Kutsokon Y, Roman A. The own findings of fish of Ukraine during 2001 - 2021. 2022. Version 1.6. Ukrainian Nature Conservation Group (NGO). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/zdqg8t> accessed via GBIF.org on 2024-04-28.

References

1. Godlevska O., Parnikoza I., Rizun V., Fesenko H., Kutsokon Yu., Zagorodniuk I., Shevchenko M., Inozemtseva D. (2010). *Fauna of Ukraine: conservation categories. Reference book*. Kyiv. 80 p. (in Ukr.)
2. Glotova N., Kutsokon Y., Podobaylo A. Distribution of small-sized fish population in the shallows of the river Uday within National Nature Park "Pyryatynsky" // *Visnyk Taras Shevchenko KNU. Biology*. Vol. 61. 2012. P. 10 – 11. (in Ukr.)
3. *Catalog of rivers of Ukraine* / G.I. Shvets, N.I. Drozd, S.P. Levchenko; Ans. ed. V.I. Moklyak Kyiv, Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1957. 192 p. (in Ukr.)
4. Kutsokon Y., Kvach Y. (2012). Ukrainian names of the lampreys and fishes of the fauna of Ukraine. *Studia Biologica*. Vol. 6, № 2. P. 199 – 220. (in Ukr.)
5. Kutsokon Y. K., Roman A. M. Fish of small tributaries of Kremenchuk reservoir between rivers Supiy and Sula // *Recent developments in theoretical and practical ichthyology*. Abstracts of the X International ichthyologic conference (Kyiv-Kaniv, 19 – 21 September 2017). – Kherson: Grin D.S., 2017. P. 85 – 89. (in Ukr.)
6. Kutsokon Y., Tsyba A., Podobaylo A., Pan'kov A.. The modern species composition of fish populations of left tributaries of the Middle Dnieper: Supiy and Trubizh // *Scientific Herald of Chernivtsy University. Biology (Biological Systems)*. Vol. 8, Is. 2. Chernivtsy: Chernivtsy National University, 2016. P. 228 – 232. (in Ukr.)
7. Movchan Y.V. (2011). *Fishes of Ukraine*. Kyiv: Zoloti Vorota. 444 p. (in Ukr.)
8. Movchan Y.V., Roman A.M. (2014) Modern composition of the ichthyofauna of the Middle Dnieper basin (faunistic survey). *Proceedings of the Zoological Museum*. № 45. P. 25–45. (in Ukr.)
9. Podobailo A.V. Fish population of the middle course of the Udai River // *Recent developments in theoretical and practical ichthyology*. Abstracts of the I International ichthyologic conference. Kaniv. 2008. P. 115-118. (in Ukr.)
10. *Red Book of Ukraine. Animals*. (2009). Kyiv: Globalconsulting. 600 p. (in Ukr.)
11. Shukh A.E., Kutsokon Yu.K. Invasive alien species of fish - some locations of mass accumulation // *Findings of alien species of plants and animals in Ukraine*. (Series: "Conservation Biology 3-75 in Ukraine". - Issue 29). - Kyiv; Chernivtsi: Druk Art, 2023. P. 502-503. (in Ukr.)

12. Kokodii S (2023). Ichthyofauna of main rivers and floodplain lakes in Ukraine. Version 1.10. Ukrainian Nature Conservation Group (NGO). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/fs4k7v> accessed via GBIF.org on 2024-04-28.
13. Kottelat M., Freyhof J. *Handbook of European freshwater fishes*. Switzerland: Delemont, 2007. 646 p.
14. Kutsokon Y, Didenko O, Kvach Y, Shukh A, Yuryshynets V, Bekh V V, Buzevych O A, Gurbyk O, Leuskyi M V, Maksymenko M L, Marushchak O (2023). Invasive and neolimnetic fish species in Dnipro, Danube and some others basins (Ukraine, 2022-2023). Ukrainian Nature Conservation Group (NGO). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/g3majn> accessed via GBIF.org on 2024-04-28.
15. Kutsokon Y, Roman A (2022). The own findings of fish of Ukraine during 2001 - 2021. Version 1.6. Ukrainian Nature Conservation Group (NGO). Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/zdqq8t> accessed via GBIF.org on 2024-04-28.

Kutsokon Y.K., Shukh A.Y., Roman A.M., Shcherbatiuk M.M. CURRENT COMPOSITION OF THE FISH POPULATION OF THE CHUMHAK RIVER BASIN (SULA RIVER BASIN)

Introduction. *Chumhak River is a tributary of the Dnipro River of the third order. Merging with the Sukha Orzhitsa River, it forms the Orzhytsa River, which, in turn, flows to Sula River. The length of the river is 72 km; the basin area is 845 km². We could not find any scientific publications about fish in the Chumhak River Basin, there are only GBIF data sets.*

Purpose. *The purpose of the work: to investigated the modern species composition of the fish population of the Chumhak River Basin.*

Methods. *Research was carried out in May 2017, June, August 2023 on the Chumhak and two of its tributaries. A total of 6 stations were investigated, where 250 individuals of 16 fish species were found.*

Results. *16 species of fish were identified. In terms of numbers, among the studied individuals, Carassius gibelio (20.4%) and Pseudorasbora parva (29.6%) dominated. The most common were Carassius gibelio (4 stations), Pseudorasbora parva (3), Leucaspis delinaetus (3). The largest number, 9 species, was found for the lower section of the river in Poltava region, Krupoderyntsi village. The smallest, 1 species, Carassius gibelio, was found in the upper Chumhak, village Kovalivka. From 2 to 6 species were noted at all other locations. Three species from Resolution 6 of the Bern Convention (Cobitis taenia, Misgurnus fossilis, Rhodeus amarus) were found. Three invasive alien species (Carassius gibelio, Pseudorasbora parva, Percottus glenii) are currently distributed in basin. Two species of neolimnetics (Pungitius pungitius, Proterorhinus semilunaris) were identified, which spread from the Dnipro River.*

Originality. *The data are the first information of the fish population of Chumhak River Basin.*

Conclusions. *Thus, the lower part of the Chumhak River in the Poltava region is the most important for nature protection. The other part of the basin is sometimes stagnant water, where hardy, small-sized fish species survive. The spread of the Pseudorasbora parva and its relatively large share among the studied fish is a cause for concern.*

Key words: *Dnipro basin, native species of fish, alien species of fish, Cherkasy region, Poltava region*

Одержано редакцією: 06.03.2024

Прийнято до публікації: 09.04.2024

УДК 616-072

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-79-92

Володимир Сергійович Лизогуб

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
v_lizogub@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3001-138X>

Аркадій Олексійович Кравець

КНП РОП «Астра» ЧМП

arkkra72@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1266-7056>

Ігор Анатолійович Путілін

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,
putiliniigor279@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6343-3115>

Юлія Юрїївна Чистовська

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького
j.chystovska@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7817-1967>

ПОСТУРАЛЬНА СТІЙКІСТЬ НА СТАБІЛЬНІЙ ТА НЕСТАБІЛЬНІЙ ОПОРІ ЗА РІЗНОЇ ПАТОЛОГІЇ

Анотація. У осіб з пошкодженнями хребта ($n=12$), травмами нижньої кінцівки ($n=12$) та здорових ($n=14$) досліджували постуральну стійкість на стабільній та нестабільній платформі стабілографа «МПФІ стабілограф-1» після проведення курсу фізичної реабілітації з використанням багатофункціонального програмного комплексу (БПК) MFT Challenge Disc 2.0.

Встановлено, що фізична реабілітація з допомогою БПК MFT Challenge Disc 2.0 здійснює позитивний вплив на підвищення статокінетичної стійкості пацієнтів з патологією поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок. Після курсу реабілітації по програмі БПК MFT Challenge Disc 2.0 на нестабільній опорі стабілографа у пацієнтів з патологією поперекового відділу хребта та травмами кісток нижніх кінцівок спостерігали статистично значуще підвищення коефіцієнту якості функції регулювання рівноваги (KFR,%), та зменшення довжини траєкторії коливання центру тиску (Length, мм), середньої швидкості переміщення центру тиску (AvgSpeed, мм/с) та середньої частоти спектру коливання центру тиску у медіолатеральній та антеріопостеріорній площині ($wAvgFMA$, Гц), ніж на стабільній опорі. У пацієнтів з патологією поперекового відділу хребта виконання завдань фізичної реабілітації по програмі БПК MFT Challenge Disc 2.0 дозволяє суттєво покращити статокінетичну стійкість, та знизити напруження механізмів постуральної регуляції на нестабільній опорі стабілографа, ніж у пацієнтів з патологією нижніх кінцівок.

Результати демонструють, що за умови використання тренувального комплексу БПК MFT Challenge Disc 2.0 показники стабілографії змінювались непропорційно. Виявлені особливості зміни стабілографічних показників обумовлені різною патологією хворих і умовами утримання вертикального положення на стабільній та нестабільній опорі. Доведено, що нестабільна опора здійснює більш виражений вплив на процес реабілітації хворих з патологією кісток нижніх кінцівок, ніж поперекового відділу хребта та на стабільній опорі. Нестабільна опора, що використовується для тренування координації та реабілітації, а також для дослідження кількісних характеристик статокінетичної стійкості дає об'єктивну оцінку функціонального стану системи, що підтримує рівновагу. Така оцінка заснована на кількісному вимірі здатності людини керувати позою у стабілометричних тестах заснованих на методиках з біоуправлінням опорної функції.

Ключові слова: статокінетична стійкість; стабілографія; нестабільна опора; реабілітація; патологія поперекового відділу хребта; травма кісток нижніх кінцівок; багатофункціональний програмний комплекс MFT Challenge Disc 2.0.

Рівновага являє собою здатність підтримувати вертикальне положення тіла з мінімальною амплітудою коливання [1, 2, 3]. Контроль за цим процесом забезпечується комбінацією центральних та периферичних нервових компонентів, включаючи спинномозкові рефлексивні, супраспінальні команди та інтеграцією аферентних сигналів зорової, вестибулярної та сомато-сенсорної модальності [4]. Стратегії постурального контролю включають або компенсуючі коригування пози після її непередбачуваного відхилення, або випереджувальні реакції, які протидіють будь-яким змінам пози [5]. Як бачимо, що функція рівноваги складний рефлекторний процес, який контролюється безперервним потоком імпульсів, що йдуть від м'язів, пропріорецепторів, сухожилля, шкірних екстерорецепторів, вестибулярної та зорової системи до відповідних відділів ЦНС. При порушенні рівноваги ці імпульси активують рефлекторні скорочення м'язових волокон для її відновлення. Таким чином, рефлекторні скорочення м'язів є причиною безперервних коливань тіла людини, які спрямовані на збереження рівноваги [6]. Ці коливання не завжди можна спостерігати візуально, але їх можна зареєструвати за допомогою спеціальних пристроїв. Одним з найбільш поширених методів дослідження функції рівноваги людини є стабілографія [5, 7]. Зареєстровані параметри стабілограми несуть інформацію про стан опорно-рухової системи, ЦНС та органу рівноваги [8].

Стабілометр представляє нерухому платформу, яка містить тензодатчики, що вимірюють вертикальну силу для визначення центру тиску, який виникає у разі стояння на ньому людини. За таких умов використовуються сигнали, які зв'язані зі зміною сили тяжіння, що вимірюється електромеханічними чи електронними датчиками. Застосовується стабілометрія з метою діагностики, медичної реабілітації чи тренування координації. Стабілометричні платформи використовують і для об'єктивної оцінки функціонального стану людини. Постуральний контроль тісно пов'язаний з гармонійним розвитком сенсорно-моторної інтеграції та моторним, когнітивним і соціальним розвитком дитини [9]. Спортивна діяльність у більшості випадків потребує від людини широкого діапазону просторово-рухової орієнтації, точності, швидкості, стійкості, різнобічної координації рухів у часі та просторі [10]. Ось чому використання стабілографії у спорті та спортивній медицині дозволяє виявляти вроджені особливості вестибулярної системи спортсменів, які не змінюються під впливом тренувань, а також своєчасно оцінювати функціональний стан та рівень підготовленості спортсменів, коректувати режими тренувань, розробляти спеціальні тренувальні комплекси та визначати їх ефективність [11]. За умови відповідних вроджених здібностей та під час удосконалення спортивної майстерності повинна спостерігатися мінімізація амплітуди коливань тіла та підвищення якості статодинамічної стійкості і спортивного результату.

У спортивних дослідженнях стабілометрія дає змогу отримати загальну інформацію про стан спортсмена, провести точний аналіз окремих дій, контролювати спортивну форму, допомагає об'єктивно оцінити індивідуально-типологічні особливості кожного спортсмена, здійснювати контроль функціонального стану організму [12, 13]. Зазначимо, що комп'ютерна стабілометрія дає змогу досліджувати функціональну систему, що підтримує рівновагу. Така оцінка заснована на кількісному вимірі здатності людини керувати позою у відомих стабілометричних тестах [14]. Наприклад у варіанті пози Ромберга, а також в нових модифікованих методиках з біоуправлінням опорної реакції [15]. Цей метод має широкий спектр застосування: оцінювання відновлення функцій опорно-рухового апарату за умов протезування, діагностики вестибулярних порушень, обґрунтування критеріїв вертикалізації хворих на гострий інфаркт міокарда для уточнення й оптимізації режиму рухової активності [5]. Також стабілографія є обов'язковим компонентом системи моніторингу у відновлювальному лікуванні хворих на геміпаретичну форму дитячого церебрального паралічу [16].

Дослідження продемонстрували ефективність використання постуральних тестів у виявленні субклінічних вестибулярних дисфункцій [17]. Проведена оцінка вестибулярної функції дітей з гострим гнійним середнім отитом методом комп'ютерної статичної стабілометрії. У стані з закритими очима діти з гнійним отитом відрізняють від своїх здорових однолітків за 14 з 24 стабілометричних параметрів: довжиною стабілограм, швидкістю, кутом та амплітудою коливань, поступаючи їм у стійкості рівноваги. [18]. Показано, що діти з гнійним середнім отитом більш чутливі до зорового каналу постурального контролю, ніж їх однолітки. Залучення зорової аферентації до постурального контролю істотно покращує підтримання балансу у дітей з гнійним отитом за рахунок зменшення девіацій, постуральних коливань порівняно з контролем [18]. Встановлено, що у дошкільному віці гнійний середній отит призводить до прихованої вестибулярної дисфункції, яка виявляється порушенням стійкості вертикальної пози у стані з закритими очима та компенсується за рахунок зорово-вестибуло-пропріоцептивної інтеграції в процесі постурального контролю.

Як бачимо, різні органічні пошкодження та функціональні порушення можуть приводити до дестабілізації стаатокінетичної стійкості людини. З'ясування механізмів утримання вертикального положення тіла при різних порушеннях на сьогодні не повністю зрозумілі і не з'ясовані механізми взаємодії сенсорних та моторних систем у цьому процесі [19, 20]. Тим менше, що ЦНС у більшості випадків успішно вирішує завдання утримання статокінетичної стійкості, координує активність постуральних м'язів, узгоджує їх з інформацією, що поступає від вестибулярної, пропріорецептивної, слухової та зорової систем [21, 22, 23, 24]. У той же час проблеми, що викликають порушення функції хребта та опорної функції нижніх кінцівок тісно пов'язані з вестибулярною, пропріорецептивною, слуховою та зоровою системою і можуть привести до розладів статокінетичної стійкості [25, 26]. Зазначене дозволяє зробити узагальнення щодо обумовленості скарг хворих з патологією хребта та нижніх кінцівок не лише порушеннями функції опорно-рухової функції, а і розладами та дисфункцією рівноваги.

Як бачимо, результати оцінки статокінетичної функції у осіб з патологією хребта та кісток нижніх кінцівок різними інструментальними методами є досить суперечливими, на що вказувалося й у нещодавньому систематичному огляді [16], а дослідження засобів фізичної реабілітації практично відсутні.

Враховуючи зазначене вище та простоту й відтворюваність результатів статичної стабілометрії у виявленні ефективності засобів фізичної реабілітації пацієнтів з патологією хребта та кісток нижніх кінцівок було сформульовано мету нашого дослідження.

Мета дослідження – з'ясувати особливості динаміки статокінетичної стійкості у хворих з травмами поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок за умови проведення курсу фізичної реабілітації з використанням комп'ютерного тренувального комплексу БПК MFT Challenge Disc 2.0.

Матеріали й методи дослідження. Дослідження проводили на базі комунального закладу Реабілітаційний центр "Астра". Дослідження проводили на особах чоловічої статі віком 17–47 років. Реєстрацію стабілограм здійснювали з використанням стабілометричної платформи. Були створені 3 групи. До першої групи були віднесені обстежувані з переломами кісток нижніх кінцівок (13 осіб), до другої - особи з пошкодженнями поперекового відділу хребта (9 осіб) та здорові особи, що склали третю, контрольну групу (12 осіб).

Дослідження проводились відповідно до Гельсінської декларації. Обстежувані були поінформовані і дали згоду на участь у дослідженні. Експертиза була схвалена Комітетом з біоетики Черкаського національного університету. Випробування проводили в рамках дослідження № 0122U001744.

Статокінетичну стійкість обстежуваних визначали з допомогою стабілографа («МПФІ стабілограф-1») і пакету програмного забезпечення StabiliS на платформі (40x40 см). Надійність стабілометричної оцінки доведена [13, 25, 26, 27, 28]. Найбільш відомими позами

є три наступні пози: 1) коли обстежуваний стоїть прямо, руки розведені горизонтально в сторони (“Т-поза”); 2) - стоїть прямо з руками, які тримає горизонтальне поперед себе (так звана “Зомбі-поза”); 3) - стоїть прямо, руки опущені вниз вздовж тулуба (“Поза солдата”). У нашому дослідженні обстежувані після інструктажу вставали на платформу стабілографа, у положення “Основна стійка”: руки — прижаті, п'ятки — на відстані 3 см, стопи — под кутом 30° , очі відкриті.

Реєстрацію стабілограмів проводили за умови виконання 2 тестів. Спочатку виконували тест на стабільній опорі та – на нестабільній опорі. Реєстрацію стабілограмів виконували з використанням стабілометричної платформи. Під час стояння досліджуваного на платформі через коливання його центра маси (ЦМ) у проекції на опорну платформу виникають зміни у моменті сил, які реєструються цифровими датчиками платформи. За допомогою дисплея та візуального контролю випробовуваний отримує інформацію про положення свого тіла на платформі. На стабільній платформі стабілографа обстежувані довільно утримували вертикальне положення тіла. Пальці стопи були розгорнуті на кут 30° , а між п'ятами була відстань у 3 см. Обстежувані візуально контролювали положення тіла. Досліджуваному пропонувалося стати на платформу й регулювати свою позу так, щоб на розміщеному перед ним екрані дисплея коло, що рухається у залежності від переміщення власного положення тіла та центру тиску, була в місці перетину двох взаємно перпендикулярних ліній фігури, що розміщена на екрані.

Другий тест обстежувані виконували на нестабільній платформі стабілографа. Стопи обстежуваних знаходились на нестабільній платформі стабілографа розміром 40×40 , яка розташовувалась на поролоні такого ж розміру і товщиною 100 мм з наклейками пластиковими мітками для стопи. Стопи за цих умов не торкались платформи стабілографа. Стопи спереду розведені под кутом 30° , відстань між п'ятами - 30 мм. У всіх випадках експерименту обидві стопи знаходились на одному горизонтальному рівні. Досліджуваній самостійно довільно розподіляв навантаження для утримання вертикальної пози.

З кожним обстежуваним проводили три проби, обирали найкращий результат. Досліджувані самостійно довільно розподіляли навантаження для вертикального положення. Тривалість кожного тесту становила 60 с.

При виконанні тестових завдань у цифровому режимі здійснювали запис тривалістю 60 с. з дискретністю в $25 \text{ l } \Delta t = \text{с}$ і обробляли сигнали стабілограмів. Показники функціонального стану системи та регуляції статокінетичної стійкості оцінювали за коефіцієнтом якості функції рівноваги (KFR,%), довжини траєкторії коливань центру тиску (Length, мм), середньої швидкості переміщення центру тиску (AvgSpeed, мм/с) та визначали спектральну щільність початкового сигналу у ряду Фур'є для антеріопостеріорної і медіолатеральної площини (середню частоту корс-спектру коливання центру тиску, w_{AvgFMA} , Гц).

На першому етапі здійснювали дослідження та аналіз показників стабілографії на початку реабілітаційного процесу. Повторні дослідження були проведені після завершення курсу реабілітації.

Статистичну обробку даних проводився за допомогою пакетів для медичних та біологічних досліджень (SPSS, версія 22, IBM, США). Аналіз показників, що одержані в результаті обробки стабілограмів, показав, що їх розподіл відрізняється від нормального. Відповідно до цього, при проведенні подальшого статистичного аналізу застосовувалися непараметричні критерії і використовували описову статистику (медіана, похибка медіани, I та III квартилі) та критерій Вілкоксона. Використовували тест Т'юкі з поправкою Бонферроні для визначення значущих відмінностей ($p < 0.05$) між середніми значеннями.

Результати дослідження та їх обговорення. У осіб з пошкодженнями поперекового відділу хребта та травмами кісток нижньої кінцівки провели дослідження постуральної стійкості на стабільній та нестабільній платформі стабілографа до та після проведення курсу

фізичної реабілітації з використанням багатофункціонального програмного комплексу MFT Challenge Disc 2.0. Пошкодження поперекового відділу хребта та травми кісток нижніх кінцівок призводять до прихованої дисфункції, яка виявляється у порушенні статокінетичної стійкості на стабільній та нестабільній опорі.

Дослідження постуральної стійкості на стабільній та нестабільній опорі перед початком проведення курсу фізичної реабілітації. Всі обстежувані контрольної та груп втручання проходили дослідження постуральної стійкості на стабільній платформі стабілографа. Необхідно було утримувати поставу на стабільній опорі стабілографа без зайвого психоемоційного напруження. Результати дослідження поступальної стійкості оцінювали за показниками: Length, мм, AvgSpeed, мм/с, KFR,%, та wAvgFMA, Гц у здорових обстежуваних контрольної групи, з патологією поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок на стабільній платформі до початку проведення курсу фізичної реабілітації представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Показники постуральної стійкості ($X \pm SD$) та статистична значущість різниці (P) у групах обстежуваних на стабільній платформі стабілографа до початку курсу реабілітації

Групи втручання, №		Досліджувані показники			
		Length, мм	AvgSpeed, мм/с	KFR, %	wAvgFMA, Гц
Контрольна	1	431,6±50,9	7,0±0,87	81,1±4,3	0,238±0,02
Пошкодження хребта	2	703,2±61,3	11,6±1,04	59,7±4,8	0,309±0,02
Травми нижніх кінцівок	3	613,4±74,2	10,0±1,9	67,0±5,7	0,293±0,01
Статистична значущість різниць, P	P ₁₋₂	= 0,034	= 0,037	= 0,033	= 0,041
	P ₁₋₃	= 0,021	= 0,041	= 0,031	= 0,047
	P ₂₋₃	= 0,043	= 0,063	= 0,053	= 0,053

З результатів, що представлені у таблиці видно, що досліджувані характеристики статокінетичної стійкості у осіб з патологією поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок на стабільній платформі стабілографа перед початком курсу реабілітації відрізнялись від показників контрольної групи. Так, у обстежуваних груп втручання, з патологією поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок статистично значуще збільшилися показники стабілограми Length та AvgSpeed, а KFR знизився у порівнянні зі значеннями контрольної групи ($p < 0,05$ – $p < 0,001$). Показники середньозваженої частоти спектру коливань центру тиску у фронтальній та сагітальній площинах та крос-спектру (wAvgFMA) у контрольній групі знаходилася у низькочастотному діапазоні (0,238±0,02 Гц) і була статистично значуще нижча, ніж у осіб з патологією поперекового відділу хребта та нижніх кінцівок ($p \leq 0,05$). Зазначена частота відображає процес утримання рівноваги в межах проекції площі його опори та компенсаторне відновлення втраченої рівноваги тіла як результат установчих позних рефлексів (??). Це свідчить про домінування механізмів саморегуляції основної стійки у обстежуваних контрольної групи (?). Показники wAvgFMA у групах втручання статистично значущих змін не мали ($p > 0,05$), але були вищими, ніж у контрольній групі та знаходились у межах (0,293±0,01 - 0,309±0,02 Гц). Отже, вищі значення стабілограми Length, AvgSpeed, wAvgFMA та нижчі KFR у групах втручання, з патологією поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок можуть бути ознакою статокінетичної дисфункції механізмів саморегуляції порівняно з контролем.

У стані дослідження стабілограми на нестабільній опорі стабілографа у осіб з пошкодженнями поперекового відділу хребта та травмами кісток нижньої кінцівки до проведення курсу фізичної реабілітації значно знизилися показники статокінетичної стійкості у всіх групах порівняно з характеристиками, що були отримані на стабільній опорі (табл. 2).

Таблиця 2

Показники поструральної стійкості ($X \pm SD$) та статистична значущість різниці (P) у обстежуваних на нестабільній платформі стабілографа до початку курсу фізичної реабілітації

Групи втручання, №		Досліджувані показники			
		Length, мм	AvgSpeed, мм/с	КФР, %	wAvgFMA, Гц
Контрольна	1	804,6±73,1	13,1±1,26	63,0±3,71	0,336±0,03
Пошкодження хребта	2	1047,6±84,3	17,6±1,4	39,7±3,4	0,406±0,04
Травми нижніх кінцівок	3	850±68,4	14,1±1,1	49,8 ±4,04	0,385±0,01
Статистична значущість різниць, P	P ₁₋₂	= 0,023	= 0,017	= 0,023	= 0,027
	P ₁₋₃	= 0,041	= 0,045	= 0,032	= 0,041
	P ₂₋₃	= 0,073	= 0,076	= 0,083	= 0,063

З результатів табл. 2 видно, що на нестабільній, так як і на стабільній опорі стабілографа показники Length, AvgSpeed були статистично значуще більшими, а KFR та wAvgFMA нижчим у групах з травмами хребта та нижніх кінцівок, ніж у контрольній групі здорових осіб ($p < 0,05 - 0,001$). До проведення курсу реабілітації у обстежуваних з патологією поперекового відділу хребта були виявлені дещо вищі показники Length та AvgSpeed і wAvgFMA та нижчі значення KFR, ніж у обстежуваних з травмами кісток нижніх кінцівок. Але статистичної значущості ці показники не досягли ($p > 0,05$). Це вказує на те, що за умови стояння на нестабільній опорі значно погіршується статокінетична стійкість і, особливо, у осіб віднесених до групи з патологією поперекового відділу хребта. Спільним для обстежуваних усіх груп було те, що за умови нестабільної опори, у порівнянні зі стабільною, статокінетична стійкість знижувалась. На це вказували показники Length, AvgSpeed і wAvgFMA, що підвищилися, а також зниження KFR. Зазначене може вказувати на значно більше напруження механізмів регуляції статокінетичної стійкості та більш вираженої дисфункції аферентної інтеграції з боку трьох ключових систем: зорової, вестибулярної та сомтосенсорної, особливо, у групах втручання. Необхідно звернути увагу на те, що всіх обстежуваних як у групі здорових так і з травмами хребта та нижніх кінцівок середньозважена частота спектру коливань центру тиску у фронтальній та сагітальній площинах та крос-спектру (wAvgFMA) статистично значуще підвищилась і знаходилась у діапазоні вищих частот (0,336±0,03 - 0,406±0,04 Гц), ніж за умови утримання постави на стабільній опорі ($p \leq 0,05$). У осіб з патологією хребта середньозважена частота спектру коливань центру тиску (wAvgFMA) досягла величини 0,406±0,04 Гц, що може бути інтерпретоване, як домінування у механізмах регуляції та компенсації постави вищих регуляторних центрів [16].

Отже, з вищевикладеного матеріалу можна зробити узагальнення стосовно того, що до початку проведення курсу реабілітації у випробовуваних з патології функції поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок на стабільній, так і нестабільній опорі статокінетична стійкість статистично значуще нижча, ніж у групах здорових обстежуваних контрольної групи. Нестабільна опора значно знижувала функцію статокінетичної стійкості у всіх групах обстежуваних. Статистично значущих різниць у групах з патологією

поперекового відділу хребта та травмами кісток нижніх кінцівок, як на стабільній, так і на нестабільній опорі не виявлено.

Реабілітаційна програма для осіб з патологією поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок. Обстежувані з патологією нижніх кінцівок та хребта упродовж години під керівництвом фізичного терапевта медичного центру тричі на тиждень проходили заняття з реабілітації по програмі, що закладена у комп'ютерному комплексі Challenge Disc 2.0. Обстежувані упродовж години послідовно виконували тренувальні завдання на балансувальному диску. Реабілітація складалася з 4 програм: розминки і навчання активного управління рухами (5 хв); тести на перевірку координації (10 хв); навчання координаційним і терапевтичним програмам (15 хв.) та 6 ігрових програм тренування координації (по 5 хв кожна). Під час стояння пацієнта на диску через коливання його центра маси у проекції на опорну платформу виникають зміни у моменті сил, які реєструються цифровими датчиками комп'ютерного комплексу. За допомогою монітора, випробовуваний візуально контролює положення свого центра маси на платформі та здійснює його корекцію. Досліджуваному пропонувалося стати на платформу й регулювати свою позу так, щоб на розміщеному перед ним екрані дисплея фігура, що рухається у залежності від переміщення власного положення тіла, була у точці, що постійно змінювала своє положення в заданих програмою напрямках на екрані. Для всіх обстежуваних з травмами поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок програма реабілітації була однаковою. Для кожного пацієнта проведено по 10 занять.

Дослідження постуральної стійкості на стабільній та нестабільній опорі після проведення курсу фізичної реабілітації. Всі обстежувані групи втручання, що проходили терапевтичну реабілітацію у медичному центрі і після закінчення курсу відновлення пройшли повторну перевірку статокінетичної стійкості за показниками стабілограми Length, AvgSpeed, KFR та wAvgFMA.

Необхідно було з'ясувати особливості динаміки статокінетичної стійкості у хворих з травмами поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок за фізичної реабілітації з використанням комп'ютерного комплексу та програми Challenge Disc 2.0. Результати дослідження постуральної стійкості у здорових обстежуваних контрольної групи і з патологією поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок на стабільній платформі після курсу фізичної реабілітації оцінювали за показниками Length, мм, AvgSpeed, мм/с, KFR, %, wAvgFMA, Гц (табл. 3).

Таблиця 3
Показники постуральної стійкості ($X \pm SD$) у обстежуваних на стабільній платформі стабілографа після проведення курсу фізичної реабілітації

Групи втручання, №		Досліджувані показники			
		Length, мм	AvgSpeed, мм/с	KFR, %	wAvgFMA, Гц
Контрольна	1	425,0±83,9	6,8±1,35	82,0±5,5	0,292±0,05
Пошкодження хребта	2	627,8±63,7	10,2±1,2	64,4±5,2	0,360±0,03
Травми нижніх кінцівок	3	586,0±64,9	10,1±1,09	67,0±5,04	0,316±0,02
Статистична значущість різниць, P	P ₁₋₂	= 0,023	= 0,017	= 0,023	= 0,027
	P ₁₋₃	= 0,041	= 0,045	= 0,032	= 0,061
	P ₂₋₃	= 0,073	= 0,076	= 0,083	= 0,043

У контрольній групі статокінетичні характеристики на стабільній опорі стабілографа через два тижні не змінилися у порівнянні з показниками, що були отримані до початку експерименту ($p > 0,05$).

З результатів, що представлені у таблиці видно, що досліджувані характеристики статокінетичної стійкості у осіб з патологією поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок на стабільній платформі стіблогографа після курсу реабілітації відрізнялись від показників контрольної групи та між собою. Так, у обстежуваних груп втручання, з патологією поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок після проведення курсу реабілітації з допомогою диску і програми Challenge Disc 2.0. відмічались статистично значущі покращання показників стабілограми Length, AvgSpeed та KFR. У обстежуваних з пошкодженнями хребта та нижніх кінцівок на стабільній опорі показники стабілограми (KFR) були статистично значуще нижчими, а Length та AvgSpeed вищими, ніж у контрольній групі ($p < 0,05 - 0,001$). Наведені результати вказують на те, що статокінетична стійкість на стабільній опорі обстежуваних з пошкодженнями поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок і після проведення курсу фізичної реабілітації по програмі Challenge поступається постуральним характеристикам здорових осіб.

Результати дослідження стабілограми на нестабільній опорі стабілографа у осіб з пошкодженнями поперекового відділу хребта та травмами кісток нижньої кінцівки після проведення курсу фізичної реабілітації з використанням диску та програми Challenge представлені у табл. 4.

Таблиця 4

Показники постуральної стійкості ($X \pm SD$) у обстежуваних на нестабільній платформі стабілографа після проведення курсу реабілітації

Групи втручання, №		Досліджувані показники			
		Length, мм	AvgSpeed, мм/с	KFR, %	wAvgFMA, Гц
Контрольна	1	795,5±75,4	12,7±1,23	62,7±4,36	0,338±0,03
Пошкодження хребта	2	912,7±62,8	15,0±2,7	48,2±7,7	0,350±0,06
Травми нижніх кінцівок	3	797,2±54,9	13,0±0,98	55,6±3,5	0,297±0,02
Статистична значущість різниць, P	P ₁₋₂	= 0,023	= 0,017	= 0,023	= 0,027
	P ₁₋₃	= 0,041	= 0,045	= 0,032	= 0,061
	P ₂₋₃	= 0,073	= 0,076	= 0,083	= 0,043

Представлені у таблиці 4 дані демонструють, що досліджувані характеристики статокінетичної стійкості у осіб з патологією поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок на нестабільній платформі стіблогографа після проведення курсу реабілітації по програмі Challenge стали кращими, ніж у до початку курсу реабілітації. Втім, у обстежуваних з пошкодженнями поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок на нестабільній опорі показники стабілограми KFR були статистично значуще нижчими, а Length та AvgSpeed вищими, ніж у контрольній групі ($p < 0,05 - 0,001$). Наведені результати вказують на те, що статокінетична стійкість на нестабільній опорі пацієнтів з пошкодженнями хребта та нижніх кінцівок і після проведення курсу фізичної реабілітації по програмі Challenge поступається характеристикам здорових осіб. Статистично значущих різниць у групах з патологією поперекового відділу хребта та травмами кісток нижніх кінцівок, як на стабільній, так і на нестабільній опорі після проведення курсу фізичної реабілітації не виявлено. У контрольній групі статокінетичні характеристики на нестабільній опорі стабілографа через два тижні не змінилися у порівнянні з показниками, що були отримані на початку експерименту ($p > 0,05$). Особи з патологією поперекового відділу хребта та травмами кісток нижніх кінцівок виявились

більш чутливими до постурального контролю на нестабільній опорі, ніж їх здорові обстежувані.

Результати показали, що у контролі для всіх обстежуваних груп на нестабільній опорі спостерігали збільшення розхитування тіла. За цих умов спостерігали зниження якості підтримання рівноваги (зниження KFR) за рахунок підвищення девіації постуральних коливань, що підтверджують показники зростання середньої швидкості переміщення центру тиску (AvgSpeed, мм/с), так і шляхом меншої кількості великих коливань та і підвищення спектральної щільності площини (середня частота корсс-спектру коливання центру тиску, wAvgFMA, Гц), ніж у контролі на стабільній опорі ($p < 0,05 - 0,001$). Імовірно, що нестабільна опора зменшує кількість регулярних та передбачуваних коливань і посилення низькочастотного діапазону (близько 0,3 Гц) порівняно з контролем на стабільній опорі. За значене свідчить про те, що стабілізуючі коливання стають більш раптовими та випадковими та пов'язаними з залученням вищих рівнів централізації у регуляції постурального контролю (???). Останнє узгоджується з виявленою вищою середньою довжиною траєкторії коливань центру тиску (Length, мм), у порівнянні з контролем.

Беручи до уваги, що ми виявили загальну динаміку та механізми статокінетичної стійкості обстежуваних та можна зробити узагальнення стосовно того, що після проведення курсу фізичної реабілітації з використанням програми Challenge у випробовуваних з патології функції поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок на стабільній, так і нестабільній опорі статокінетична стійкість покращилась, але залишалась статистично значуще нижчою у порівнянні з здоровими обстежуваними контрольною групи. Статистично значущих різниць у групах з патологією поперекового відділу хребта та травмами кісток нижніх кінцівок, як на стабільній, так і на нестабільній опорі не виявлено.

Для з'ясування особливостей фізичної реабілітації по програмі Challenge у пацієнтів з патологією поперекового відділу хребта та травмами кісток нижніх кінцівок ми провели розрахунки зміни показників стабілографії на стабільній та нестабільній опорі у %. За вихідні значення були взяті показники, що отримані перед початком занять з реабілітації, а кінцевими результатами служили характеристики стабілографії після проведення 10 занять на тренажері Challenge Disc 2.0 (табл. 5).

Таблиця 5

Зміна показників стабілограми у % після проведення курсу реабілітації на стабільній та нестабільній опорі у осіб з патологією поперекового відділу хребта та травмами кісок нижніх кінцівок у порівнянні з вихідним станом

Групи обстежуваних, умови дослідження, показники	Контрольна Група		Пошкодження хребта		Травми нижніх кінцівок	
	Стабільна опора	Нестабільна опора	Стабільна опора	Нестабільна опора	Стабільна опора	Нестабільна опора
Length, мм	+ 1,4	+ 1,9	+ 11,0	+13,0	+4,5	+ 7,1
AvgSpeed, мм/с	+1,9	+2,4	+12,1	+14,8	+1,2	+8,2
KFR, %	+1,2	+1,8	+6,6	+20,1	+1,6	+12,0

Результати показали, що реакція досліджуваних показників стабілографії на фізичні навантаження, що відбувалися на тренажері по праграмі Challenge Disc 2.0 знаходилась у залежності від стану здоров'я, виду патології та умов утримання рівноваги на стабільній, чи нестабільній опорі. Найменші зміни показників статокінетичної стійкості були у здорових обстежуваних контрольною групи. Відносні показники статокінетичної стійкості у випробовуваних змінювались у незначних межах. На стабільній і нестабільній опорі зміни

стабілографічних характеристик у контрольній групі не перевищували 2,4%. Необхідно звернути увагу на те, що найбільші зміни відносних показників стабілограми Length, AvgSpeed та KFR після проведення курсу реабілітації по програмі та на диску Challenge Disc 2.0 були виявлені у пацієнтів з пошкодженнями поперекового відділу хребта. На стабільній опорі такі зміни після проведення курсу фізичної реабілітації становили від 6,6 до 12,1%, на нестабільній опорі вони були більшими 13,0 - 20,1%. У пацієнтів з травмами кісток нижніх кінцівок на нестабільній опорі показники статокінетичної стійкості після проведення курсу фізичної реабілітації покращилися на 7,1-12,0%, на стабільній опорі на 1,2-4,5%. Наведені результати вказують на те, що процес фізичної реабілітації з використанням програмного комплексу Challenge здійснює помітний вплив на відновлення функції кісток нижніх кінцівок і, особливо, функції поперекового відділу хребта, що підтверджують результати дослідження статокінетичної стійкості на стабільній та нестабільній опорі.

Отже, у стані на стабільній та нестабільній опорі обстежувані з патологією поперекового відділу хребта та травмами кісток нижніх кінцівок відрізняють від здорових обстежуваних за усіма досліджуваними стабілометричними показниками. У тому числі за довжиною стабілограми, швидкістю коливань, коефіцієнтом функції рівноваги та спектральною щільністю площі коливання центру тиску, поступаючись їм у стійкості рівноваги. Залучення у процес фізичної реабілітації програмного комплексу Challenge істотно покращує статокінетичну стійкість у осіб з патологією поперекового відділу хребта та травмами кісток нижніх кінцівок за рахунок зменшення девіацій, постуральних коливань, що знаходить відображення у вірогідних змінах стабілометричних параметрів порівняно з контролем та показниками, що отримані на початку експерименту. Результатами роботи доведено, що статокінетична стійкість у осіб з патологією поперекового відділу хребта та травми кісток нижніх кінцівок компенсується за рахунок зорово-вестибуло-пропріоцептивної інтеграції у процесі реабілітації постурального контролю з використанням програмного комплексу Challenge. Особи з патологією поперекового відділу хребта виявились більш чутливими до реабілітації по програмі постурального контролю на нестабільній опорі, ніж випробовувані з травми кісток нижніх кінцівок. Пояснити результати більш ефективного впливу фізичної реабілітації з постійним постуральним контролем на нестабільній опорі MFT Challenge Disc 2.0. на відновлення функції поперекового відділу хребта, ніж на статокінетичну стійкість випробовуваних з травмами кісток нижніх кінцівок поки що рано. Необхідно продовжувати дослідження та накопичувати результати.

Висновки:

1. Встановлено, що фізична реабілітація з допомогою тренувального багатофункціонального комплексу MFT Challenge Disc 2.0. здійснює позитивний вплив на підвищення статокінетичної стійкості пацієнтів з патологією поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок.

2. Результати демонструють, що за умови використання тренувального комплексу Challenge Disc 2.0 стабілографічні характеристики змінювались непропорційно. Виявлені особливості зміни стабілографічних показників обумовлені різною патологією хворих та умовами утримання вертикального положення на стабільній та нестабільній опорі.

3. Процес фізичної реабілітації з використанням постурального контролю за програмою Challenge істотно покращує статокінетичну стійкість у осіб з патологією поперекового відділу хребта та травмами кісток нижніх кінцівок. Зменшується девіація, постуральних коливань, що знаходить відображення у вірогідних змінах стабілометричних параметрів порівняно з контролем та показниками, що отримані на початку експерименту.

4. Після курсу реабілітації по програмі Challenge на нестабільній опорі стабілографа у пацієнтів з пошкодженнями поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок спостерігали статистично значуще підвищення KFR і зниження Length, AvgSpeed, wAvgFMA.

5. Особи з пошкодженнями поперекового відділу хребта виявились більш чутливими до реабілітації по програмі постурального контролю на нестабільній опорі пограмного комплексу Challenge Disc 2.0, ніж випробовувані з травми кісток нижніх кінцівок.

6. Доведено, що нестабільна опора, що використовується для реабілітації, тренування координації та дослідження статокінетичної стійкості дозволяє об'єктивно оцінити функціональний стан пацієнтів з травмами поперекового відділу хребта та кісток нижніх кінцівок.

Список використаної літератури

1. Cohen HS, Mulavara AP, Stitz J, Sangi-Haghepeykar H, Williams SP, Peters BT, Bloomberg JJ. Screening for vestibular disorders using the modified clinical test of sensory interaction and balance and tandem walking with eyes closed. *Otol neurotol.* 2019. № 40(5). P. 658–665. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002173>
2. Zimmermann M, Toni I, de Lange FP. Body posture modulates action perception. *J. Neurosci.* 2013. Vol. 33, no 14. P. 5930.
3. Halmágyi GM, Curthoys IS. Vestibular contributions to the Romberg test: Testing semicircular canal and otolith function. *European journal of neurology.* 2021. Vol. 28 (9). P.3211–3219. <https://doi.org/10.1111/ene.14942>
4. Nishino LK, Rocha GD, Souza T, Ribeiro F, Cóser PL. Protocolo para posturografia estática com provas dinâmicas em indivíduos sem queixas vestibulares utilizando o sistema Horus. *CoDAS.* 2021/ Vol. 33 (3): e20190270. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20202019270>.
5. Sliva SS. Domestic computer stabilography: engineering standards, functional capabilities, and fields of application. *Biomed Eng.* 2005. Vol. 39(1). P. 31-4. <https://doi.org/10.1007/s10527-005-0037-8>
6. Mochizuki L, Duarte M, Amadio AC, Zatsiorsky VM, Latash ML. Changes in postural sway and its fractions in conditions of postural instability different postural control mechanisms. *J Appl Biomech.* 2006. Vol. 22(1). P. 51-60. PMID: 16760-567. <https://doi.org/10.1123/jab.22.1.51>
7. Shephard NT. Functional operation of the balance system in daily lives. *Otolaryngology Clinics of North America.*2000. Vol. 33(3). P. 455-69. [https://doi.org/10.1016/S0030-6665\(05\)70220-6](https://doi.org/10.1016/S0030-6665(05)70220-6)
8. Sologubov EG, Yavorskii AB, Kobrin VI, Nemkova SA, Sinel'nikova AN. Use of Computer Stabilography and computer- assisted biomechanical examination of gait for diagnosis of posture and movement disorders in patients with various forms of infantile cerebral paralysis. *Biomed Eng.* 2000. Vol. 34(3): 138-43. <https://doi.org/10.1007/BF02389845>
9. Dias et al. Validity of a new stabilometric force platform for postural balance evaluation. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano.* 2011. Vol. 5, no. 13. P. 367—372.
10. Платонов В.М. Сучасна система спортивного тренування. Київ. Перша друкарня. 2021. 672 с.
11. Коваленко Я., Болобан В., Жирнов О. Сенсомоторна координація спортсменів, які займаються художньою гімнастикою на етапі спеціалізованої базової підготовки. *Теорія і методика фізичного виховання і спорту.* 2017. №4. С. 27-34.
12. Приймаков А. А., Ейдер Є., Омельчук Є. В. Стійкість рівноваги у вертикальній стійці та управління довільним рухом у спортсменів-стрільців у процесі виготовлення та стрільби по мішені. *Фізичне виховання студентів.* 2015. № 1. С. 36—42.
13. Лизогуб В.С., Салівончик І.І., Коваль Ю.В., Дудник І.О. Формування статокінетичної стійкості в онтогенезі. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки.* 2023. № 2. С. 11–22. Doi: 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-2-64-77
14. Іванова Г. Є., Скворцов Д. В., Клімов Л. В. Оцінка постуральної функції у клінічній практиці. *Вісник відновлювальної медицини.* 2014. № 1. С. 19—25.
15. Кубряк О. В, Гроховський С. С. Практична стабілометрія. Статичні рухово-когнітивні тести з біологічним зворотним зв'язком по опорній реакції. 2012. С. 88 с. ISBN 978-5-91146-686-2.
16. Da Costa Monsanto R, Kasemodel A, Tomaz A, Paparella MM, Penido NO. Current evidence of peripheral vestibular symptoms secondary to otitis media. *Annalsofmedicine.* 2018. Vol. 50 (5). P. 391–401. <https://doi.org/10.1080/07853890.2018.1470665>
17. Gorski LP, Silva A, Cusin FS, Cesaroni S, Ganança MM, Caovilla HH. Body balance at static posturography in vestibular migraine. *Brazilian journal of otorhinolaryngology.* 2019. Vol. 85 (2). P. 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2017.12.001>

18. Лозова ЮВ. Визначення вестибулярної функції у дітей хворих на гнійний середній отит. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Медицина»*. 2022. №44. С. 49-64. doi:10.26565/2313-6693-2022-44-04
19. Asslander L.I., Peterka R.J. Sensory reweighting dynamics in human postural control. *J. Neurophysiol.* 2014. Vol. 111. No. 9. P. 1852.
20. Sousa A.S., Silva A., Tavares J. M. Biomechanical and neurophysiological mechanisms related to postural control and efficiency of movement: a review. *Somatosen. Mot. Res.* 2012. Vol. 29. No. 4. P. 131.
21. Faraldo-Garcia A.I., Santos-Perez S., Crujeiras-Casais R. et al. Influence of age and gender in the sensory analysis of balance control. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2012. Vol. 269. No. 2. P. 673
22. Polastri P.F., Barela J.A., Kiemel T. et al. Dynamics of inter-modality re-weighting during human postural control. *Exp. Brain Res.* 2012. Vol. 223. No. 1. P. 99
23. Minino R, Lopez E T, Sorrentino P, Rucco R, Lardone A, Pesoli M, Tafuri D, Mandolesi L, Sorrentino G, Liparoti M. The effects of different frequencies of rhythmic acoustic stimulation on gait kinematics and trunk sway in healthy elderly population. *Scientific Reports*. 2021. doi:10.1038/s41598-021-98953-2] [PMid:34593924
24. Karageorghis CI, Lyne LP, Bigliassi M, Vuust P. Effects of auditory rhythm on movement accuracy in dance performance. *Human Movement Science*. 2019. Vol. (67):102511. doi:10.1016/j.humov.2019.102511 PMid:31450067
25. Коваль Ю.В., Юхименко Л.І., Чистовська Ю.Ю., Палійчук О.В. Вікові особливості формування статокінетичної стійкості у осіб з депривацією слухової функції *Вісник Черкаського університету. Серія: Біол. науки*, 2023, № 1. С. 11–22. Doi: 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-46-57.
26. Bezkopulna S. V. Age dynamics of the persons with the stature disorders' mental workability. *Cherkasy University Bulletin: Biological Sciences Series*. 2020. № (2). С. 11-19.
27. Barozzi S, Socci M, Soi D, Di Berardino F, Fabio G, Forti S, Gasbarre AM, Brambilla D, Cesarani A. Reliability of postural control measures in children and young adolescents. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS): affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology*. 2014. Vol. 271 (7). P. 2069–2077. <https://doi.org/10.1007/s00405-014-2930-9>.
28. Безкопильна С.В., Мінаєв Б.П., Безкопильний О.О., Каленіченко О.В., Гречуха С.В. Вікові особливості статокінетичної стійкості у спортсменів та не спортсменів. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біол. науки*, 2023, № 1. С. 11–22. doi: 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-27-34.

References

1. Cohen, H. S., Mulavara, A. P., Stitz, J., Sangi-Haghpeykar, H., Williams, S. P., Peters, B. T., & Bloomberg, J. J. (2019). Screening for Vestibular Disorders Using the Modified Clinical Test of Sensory Interaction and Balance and Tandem Walking With Eyes Closed. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 40(5), 658–665. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002173>
2. Zimmermann, M., Toni, I., & de Lange, F. P. (2013). Body posture modulates action perception. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 33(14), 5930–5938. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5570-12.2013>
3. Halmágyi, G. M., & Curthoys, I. S. (2021). Vestibular contributions to the Romberg test: Testing semicircular canal and otolith function. *European journal of neurology*, 28(9), 3211–3219. <https://doi.org/10.1111/ene.14942>
4. Nishino, Lucia Rocha, Guilherme Dias Souza, Thiago Ribeiro, Fernando Cóser, Pedro. (2021). Protocolo para posturografia estática com provas dinâmicas em indivíduos sem queixas vestibulares utilizando o sistema Horus. *CoDAS*. 33. 10.1590/2317-1782/20202019270.
5. Sliva SS. (2005). Domestic computer stabilography: engineering standards, functional capabilities, and fields of application. *Biomed Eng.* Vol. 39(1). P. 31-4. <https://doi.org/10.1007/s10527-005-0037-8>
6. Mochizuki, L., Duarte, M., Amadio, A. C., Zatsiorsky, V. M., & Latash, M. L. (2006). Changes in postural sway and its fractions in conditions of postural instability. *Journal of applied biomechanics*, 22(1), 51–60. <https://doi.org/10.1123/jab.22.1.51>

7. Shepard, N. T., & Solomon, D. (2000). Functional operation of the balance system in daily activities. *Otolaryngologic clinics of North America*, 33(3), 455–469. [https://doi.org/10.1016/s0030-6665\(05\)70220-6](https://doi.org/10.1016/s0030-6665(05)70220-6)
8. Sologubov, E. G., Iavorskiĭ, A. B., Kobrin, V. I., Nemkova, S. A., & Sinel'nikova, A. N. (2000). Primenenie komp'uternoĭ stabilografii i metoda komp'uternogo biomekhanicheskogo issledovaniia pokhodki dlia diagnostiki poznykh i dvigatel'nykh narusheniĭ u bol'nykh s razlichnymi formami detskogo tserebral'nogo paralicha [Use of computer-assisted stabilography and the method of computer-assisted biomechanical study of gait in the diagnosis of posture and motor disorders in patients with different forms of infantile cerebral paralysis]. *Meditinskaiia tekhnika*, (3), 24–28.
9. Dias et al. (2011). Validity of a new stabilometric force platform for postural balance evaluation. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*. Vol. 5, no. 13. P. 367–372.
10. Platonov V.M. (2021). A modern system of sports training. Kyiv. The first printing house. 672 p.
11. Kovalenko, Ya., Boloban, V., & Zhirnov, O. (2017). Sensorimotor coordination of athletes engaged in artistic gymnastics at the stage of specialized basic training. *Theory and methods of physical education and sports*, (4), 27-34.
- A. A. Priymakov, E. Eider, & E. V. Omelchuk (2015). Stability of balance in a vertical stance and control of voluntary movement in sports shooters in the process of making and shooting at a target. *Physical education of students*. No. 1. P. 36-42.
12. Lyzogub, V., Salivonchuk, I., Koval, Y., & Dudnyk, I. (2023). Formation of statokinetic stability in ontogenesis. *Cherkasy University Bulletin: Biological Sciences Series*, (2), 64-75. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2023-2-64-77>
13. Ivanova G. E., Skvortsov D. V., & Klimov L. V. Assessment of postural function in clinical practice. *Journal of restorative medicine*. 2014. No. 1. P. 19–25.
14. Kubryak O. V. & Grohovskiy S. S. (2012). Practical stabilometry. Static motor-cognitive tests with biological feedback on the reference reaction. P. 88 p. ISBN 978-5-91146-686-2.
15. Da Costa Monsanto R, Kasemodel A, Tomaz A, Paparella MM, & Penido NO. (2018). Current evidence of peripheral vestibular symptoms secondary to otitis media. *Annals of medicine*. Vol. 50 (5). P. 391–401. <https://doi.org/10.1080/07853890.2018.1470665>
16. Gorski, L. P., Silva, A. M. D., Cusin, F. S., Cesaroni, S., Ganança, M. M., & Caovilla, H. H. (2019). Body balance at static posturography in vestibular migraine. *Brazilian journal of otorhinolaryngology*, 85(2), 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2017.12.001>
17. Lozova Y. V. (2022). Determination of vestibular function in children with purulous otitis. *Herald of Kharkiv National University named after V. N. Karazin. Series "Medicine"*, (44), 49-64. <https://doi.org/10.26565/2313-6693-2022-44-04>
18. Assländer, L., & Peterka, R. J. (2014). Sensory reweighting dynamics in human postural control. *Journal of neurophysiology*, 111(9), 1852–1864. <https://doi.org/10.1152/jn.00669.2013>
19. Sousa, A. S., Silva, A., & Tavares, J. M. (2012). Biomechanical and neurophysiological mechanisms related to postural control and efficiency of movement: a review. *Somatosensory & motor research*, 29(4), 131–143. <https://doi.org/10.3109/08990220.2012.725680>
20. Faraldo-García, A., Santos-Pérez, S., Crujeiras-Casais, R., Labella-Caballero, T., & Soto-Varela, A. (2012). Influence of age and gender in the sensory analysis of balance control. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*, 269(2), 673–677. <https://doi.org/10.1007/s00405-011-1707-7>
21. Polastri, P. F., Barela, J. A., Kiemel, T., & Jeka, J. J. (2012). Dynamics of inter-modality re-weighting during human postural control. *Experimental brain research*, 223(1), 99–108. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3244-z>
22. Minino, R., Troisi Lopez, E., Sorrentino, P. et al. (2021) The effects of different frequencies of rhythmic acoustic stimulation on gait stability in healthy elderly individuals: a pilot study. *Sci Rep* 11, 19530. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98953-2>
23. Karageorghis, C. I., Lyne, L. P., Bigliassi, M., & Vuust, P. (2019). Effects of auditory rhythm on movement accuracy in dance performance. *Human movement science*, 67, 102511. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.102511>
24. Koval, Y., Yukhymenko, L., Chistovska, Y., & Paliychuk, O. (2023). Age-specific features of the formation of statokinetic stability in persons with hearing loss. *Cherkasy University Bulletin: Biological Sciences Series*, (1), 46-57. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-46-57>

25. Bezkopulna, S. V. (2020). Age dynamics of the persons with the stature disorders' mental workability. *Cherkasy University Bulletin: Biological Sciences Series*, (2), 11-19..
26. Barozzi, S., Socci, M., Soi, D., Di Bernardino, F., Fabio, G., Forti, S., Gasbarre, A. M., Brambilla, D., & Cesarani, A. (2014). Reliability of postural control measures in children and young adolescents. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*, 271(7), 2069–2077. <https://doi.org/10.1007/s00405-014-2930-9>
27. Bezcopylna, S. V., Minaev, B. P., Bezcopylnyi, O. O., Kalenichenko, O. V. , & Grechukha, S. V. (2023) Age characteristics of statokinetic stability in athletes and non-athletes. *Journal of Cherkasy University. Series Biological sciences*, (1), 27-34. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-27-34>

Lyzohub V.S., Kravets A.O., Putilin I.A., Chistovska Y.Yu. POSTURAL STABILITY ON STABLE AND UNSTABLE SUPPORT IN DIFFERENT PATHOLOGIES

Introduction. *Assessment of the statokinetic function of individuals with spine and lower extremity bone pathology by various instrumental methods is quite controversial, and studies of the effect of physical rehabilitation are practically absent. Given the above, it was necessary to determine the effectiveness of physical rehabilitation of patients with spine and lower extremity bone pathology in terms of statokinetic stability.*

The aim of the research- *to determine the peculiarities of the dynamics of statokinetic stability in patients with lumbar spine and lower extremity bone injuries during physical rehabilitation using the MFT Challenge Disc 2.0 computer training complex.*

Material and methods. *Postural stability on the stable and unstable platform of the MPFI Stabilograph-1 stabilograph after a course of physical rehabilitation using the MFT Challenge Disc 2.0 multifunctional software package (MFP) was studied in patients with spinal cord injuries (n=12), lower limb injuries (n=12) and healthy subjects (n=14).*

Results. *It has been established that physical rehabilitation with the help of BOD MFT Challenge Disc 2.0 has a positive effect on increasing the statokinetic stability of patients with pathology of the lumbar spine and lower extremity bones. After a rehabilitation course under the BPC MFT Challenge Disc 2.0 on an unstable stabilizer support in patients with lumbar spine pathology and lower extremity bone injuries, a statistically significant increase in the quality factor of the balance control function (QFR,%) was observed, and a decrease in the length of the pressure center oscillation trajectory (Length, mm), the average speed of the pressure center movement (AvgSpeed, mm/s) and the average frequency of the pressure center oscillation spectrum in the mediolateral and anteroposterior planes (wAvgFMA, Hz) than on a stable support. In patients with lumbar spine pathology, the implementation of physical rehabilitation tasks according to the BPC MFT Challenge Disc 2.0 program can significantly improve statokinetic stability and reduce the stress of postural regulation mechanisms on an unstable stabilizer support compared to patients with lower extremity pathology.*

Conclusions. *The results demonstrate that when using the BPC MFT Challenge Disc 2.0 training complex, stabilography indicators changed disproportionately. The revealed peculiarities of changes in stabilographic indicators are due to the different pathology of patients and the conditions of maintaining a vertical position on a stable and unstable support. It has been proved that unstable support has a more pronounced effect on the rehabilitation process of patients with lower extremity bone pathology than lumbar spine and stable support. Unstable support used for coordination training and rehabilitation, as well as for the study of quantitative characteristics of statokinetic stability provides an objective assessment of the functional state of the system that maintains balance. Such an assessment is based on the quantitative measurement of a person's ability to control posture in stabilometric tests based on biofeedback techniques.*

Key words: *statokinetic stability; stabilography; unstable support; rehabilitation; lumbar spine pathology; lower extremity bone injury; multifunctional software system MFT Challenge Disc 2.0.*

Одержано редакцією: 02.04.2024

Прийнято до публікації: 01.05.2024

УДК 796:004.38:612.172

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-93-111

Юлія Петрівна Луць

Національний університет фізичного виховання і спорту України

yulialuts06@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9374-3732>**Олександр Миколайович Бакуновський**

Національний університет фізичного виховання і спорту України

alexandr.bakunovskiy@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6546-1025>**Галина Володимирівна Лук'янцева**

Національний університет фізичного виховання і спорту України

lukjantseva@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8054-0108>**Тетяна Василівна Куценко**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

tetianakutsenko@ukr.netORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4244-3187>**Світлана Володимирівна Федорчук**

Національний університет фізичного виховання і спорту України

svitlana.v.fedorchuk@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2207-9253>

ТОЧНІСТЬ РЕАКЦІЇ НА РУХОМИЙ ОБ'ЄКТ ТА ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ СЕРЦЕВОГО РИТМУ КІБЕРСПОРТСМЕНІВ

Дана робота присвячена проблемі вивчення точності та швидкості сенсомоторних реакцій, автономної регуляції варіабельності серцевого ритму (ВСР) у кіберспортсменів. Аналіз та узагальнення науково-методичної літератури дозволив з'ясувати, що специфіка тренувальної і змагальної діяльності в кіберспорті накладає свій відбиток на рівень розвитку сенсомоторних реакцій гравців. Виявлено, що кіберспортсмени продемонстрували вищу точність в реакції на рухомий об'єкт (РРО) порівняно із IT-спеціалістами та нетренованими особами, які не займаються комп'ютерними іграми ($p < 0,05$). Виявлено взаємозв'язок точності РРО у обстежених кіберспортсменів з показниками ВСР під час виконання завдання. Більшій точності РРО кіберспортсменів відповідала більша активність симпатичного відділу у регуляції роботи серця ($p < 0,05$). В групі кіберспортсменів виявлено асиметрію в регуляції ВСР із домінуванням активності лівої півкулі, що узгоджується із уявленнями про метаконтроль рухових виконавчих функцій лівою півкулею. Виявлені відмінності РРО кіберспортсменів у порівнянні з IT-спеціалістами та нетренованими особами, які не займаються комп'ютерними іграми, можуть мати прогностичну цінність і використовуватися для оптимізації спортивного вдосконалення в кіберспорті.

Ключові слова: кіберспорт; реакція на рухомий об'єкт; варіабельність серцевого ритму.

Постановка проблеми. Аналіз останніх публікацій. У фізіології спорту одним із найбільш інформативних та чутливих методів оцінки функціонального стану організму спортсмена вважається аналіз варіабельності серцевого ритму (ВСР), оскільки він відображає стан регуляторних механізмів мозку [1, 2, 3].

За результатами Г. В. Коробейнікова та А. І. Коханевича (2024), помірне напруження системи регуляції ритму серця у кваліфікованих борців супроводжується зростанням психічної працездатності та зниженням рівня тривоги. В свою чергу, зростання напруження автономної регуляції відображається в наявності внутрішнього психологічного дискомфорту та незалежністю у формуванні прийняття рішення. Однак, при цьому спостерігається зростання рівня тривоги та зниження рівня психічної працездатності [4].

У групах професійних кіберспортсменів ВСР досить добре вивчена: виявлено, що агресивні екшн-ігри, файтинги порушують кардіореспіраторний синхронізм за рахунок гіперактивації симпатичного відділу автономної нервової системи [1, 5].

Закономірні фізіологічні зміни у кіберспортсменів виражені у посиленні симпатичної активності з боку автономної нервової системи, але за умови наявності чи прояву високої мотивації впродовж соціально значущих змагань [6]. Виявлено, що попередній досвід стресових ситуацій у кіберспортсменів мінімізує автономну реактивність, що є доказом ефективності тренувань та змагань.

Поодинокими є дослідження механізмів регулювання функцій організму в залежності від результативності кіберспортсменів. До прикладу, за даними S. Machado та співавторів (2022), у кіберспортсменів-переможців спостерігалось значне збільшення кардіоінтервалу (R-R) та високочастотних коливань (HF), а також значне зниження низькочастотних коливань (LF) та LF/HF у спектрограмі (більша парасимпатична активація), тоді як у переможених кіберспортсменів спостерігалась протилежна реакція (більша симпатична активація) [2].

ВСР відбиває зміни емоційної напруги – стресогенного чинника змагальної діяльності спортсменів у будь-яких видах спорту. За результатами багаторічних досліджень за участю представників різних видів спорту (баскетбол, гандбол, хокей, легка атлетика, біатлон, лижні гонки, веслування на байдарках і каное, триатлон та інших) в працях вітчизняних дослідників доведено, що переважання в регуляції серцевого ритму активності парасимпатичного відділу автономної нервової системи сприяє досягненню спортсменами більшого рівня фізичної працездатності як за умов виконання фізичної роботи при переважанні аеробних процесів в енергозабезпеченні (рівень аеробного порогу), так і за умов максимальної реалізації аеробних можливостей організму (при досягненні максимального рівня споживання кисню) [7, 8]. Нормотонічний та ваготонічний типи регуляції серцевого ритму (СР) характеризують оптимальний функціональний стан організму спортсмена, його високі функціональні можливості, що забезпечують збереження параметрів гомеостазу, стійку регуляцію і високий рівень економічності функціонування [8].

Ваготонічний, нормотонічний та симпатикотонічний типи регуляції СР в стані відносного спокою дозволяють говорити про задовільну адаптацію організму спортсмена до впливу різних факторів зовнішнього середовища. Натомість, незадовільну адаптацію характеризує різко виражений ваготонічний та різко виражений симпатикотонічний типи регуляції СР в стані відносного спокою [8].

В роботах М. В. Макаренка, В. С. Лизогуба та співавторів досліджено серцевий ритм у студентів з різними індивідуально-типологічними властивостями вищої нервової діяльності за умов емоційного стресу [9], особливості реакцій центральної гемодинаміки та регуляції серцевого ритму на ортопробу осіб з різним індексом маси тіла [10], гемодинаміку головного мозку та серцевий ритм при розумовій діяльності людей з різними індивідуально-типологічними властивостями вищих відділів центральної нервової системи [11], хвильові процеси регуляції серцевого ритму осіб з різними типами гемодинаміки під час проби head-up-tilt [12].

Постійно зростає кількість досліджень, які свідчать про генетичний компонент серцево-судинної реактивності (Carmelli, Chesney, Ward, Rosenman, 1985; Rose, Grim, Miller, 1984; Sims, Carroll, Hewitt, Turner, 1987; Smith et al., 1987) [цит. за 13]. У цих дослідженнях зазвичай вимірюється реактивність на такі лабораторні завдання, як тест Струпа та ментальна арифметика (стресори, що вимагають активного подолання), а також захват рукою та холодний тиск (стресори, що вимагають пасивного подолання) [цит. за 13].

Стосовно спортивної діяльності у кіберспорті, можна припустити, що основою індивідуальних відмінностей в реакціях адаптації представників цього виду спорту до

тренувальних і змагальних навантажень можуть бути в першу чергу індивідуально-типологічні характеристики ВНД та особливості функціонування автономної нервової системи в регуляції фізіологічних функцій організму, серцевого ритму зокрема.

За даними О. А. Шинкарук (2022), до моделі ігрової підготовленості гравця в кіберспорті віднесено такі здібності, якості та характеристики: координаційні здібності та здібності, які впливають на контроль, адаптацію та навчання рухових навичок: рухових образів, рухової пам'яті, рівноваги; сенсомоторні навички, техніка, особливості обробки інформації при виконанні рухів; швидкість реакції, рухливість, локальна анаеробна алактатна витривалість пальців, кистей і рук, локальна та глобальна аеробна витривалість; реакція, а також циклічні та дискретні дії, швидкість рухів, сила утримання м'язів хребта; швидке сприйняття та оцінка поточної ситуації, прийняття адекватних рішень; сприйняття, прийняття рішень і креативність, оперативна пам'ять, увага та багатозадачність; вмотивованість, емоційна стабільність і гнучкість дій, індивідуальні якості особистості, комунікативні навички та соціальна поведінка, надійність, поведінка всередині і поза грою після перемоги або поразки [14, с. 159].

Тому важливим завданням у підготовці кіберспортсменів є дослідження типологічних особливостей нервової системи гравців та пов'язаних із ними сенсомоторних здібностей [15, 16, 17, 18], аналіз факторів, що визначають функціональну підготовленість та психофізіологічний статус кіберспортсменів [14, 19, 20].

Метою дослідження була оцінка автономної регуляції варіабельності серцевого ритму у зв'язку з функціональним станом центральної нервової системи за показниками реакції на рухомий об'єкт у кіберспортсменів.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження проводилося на базі Науково-дослідного центру Навчально-наукового інституту здоров'я, реабілітації та фізичного виховання Національного університету фізичного виховання і спорту України. У дослідженні брали участь 41 респондент чоловічої статі віком 17–25 років, серед яких 14 – кіберспортсменів (спортивний стаж у кіберспорті 3–10 років), 13 ІТ-спеціалістів (стаж гри у відеоігри 0–15 років) та 14 нетренованих осіб, які не займаються комп'ютерними іграми (контрольна група). Слід зазначити, що обстежені ІТ-спеціалісти грали у відеоігри як хобі, у вільний час, не виступали на змаганнях; нетреновані особи займалися раніше іншими видами спорту (не кіберспортом), але на момент проведення обстежень вже 1,5 роки і більше не тренувалися. В даній роботі проаналізовано результати обстеження кіберспортсменів у порівнянні з ІТ-спеціалістами і контрольною групою. У більшості обстежуваних домінантною виявилася права рука.

ВСР визначали за допомогою комплексу діагностичного автоматизованого «Кардіо+» (НВП «МЕТЕКОЛ», Україна) [21] як в стані спокою (перед проходженням психофізіологічних тестів), впродовж виконання психофізіологічних тестів, так і під час І періоду відновлення (3–5 хвилин) [22].

Для визначення стану психофізіологічних функцій, оцінки швидкості і точності реагування, співвідношення процесів збудження і гальмування в реакції на рухомий об'єкт респондентів використовували діагностичний комплекс «Діагност-1» (М. В. Макаренко, В. С. Лизогуб) [23, 24]. Відповідно до мети роботи у обстежуваних досліджувалися показники реакції на рухомий об'єкт (РРО): точність РРО, кількість реакцій випередження і запізнювання, сумарне та середнє відхилення у РРО, сумарне та середнє випередження і запізнювання та співвідношення показників, зазначених вище. Даний варіант методики передбачає реєстрацію рухових відповідей людини на об'єкт, що рухається у зазначеному місці з рівномірною швидкістю; у якості подразників застосовувалися предметні символи – геометричні фігури [24, 25].

Обстежувані тричі проходили тест РРО. Реєструвалися такі основні показники виконання тесту РРО [23]:

1. Кількість точних реакцій (для кращої спроби), сума всіх відхилень та їхнє середнє значення в мс;
2. Кількість випереджаючих відхилень та їхнє середнє значення в мс (для кращої спроби);
3. Кількість запізнювальних відхилень та їхнє середнє значення в мс (для кращої спроби);
4. Кількість точних реакцій (для трьох спроб), сума відхилень та їхнє середнє значення в мс;
5. Кількість випереджаючих відхилень та їхнє середнє значення в мс (для трьох спроб);
6. Кількість запізнювальних відхилень та їхнє середнє значення в мс (для трьох спроб).

Для визначення зміни інтервалу серцевих скорочень (тривалості серцевого циклу) при нормальному синусовому ритмі серця використовували дослідження ВСП [21]. Методом вибору для дослідження ВСП є метод ритмокардіографії (РитмКГ), що ґрунтується на реєстрації електрокардіограми. Для дослідження ВСП шляхом реєстрації РитмКГ використовували аналіз за Басєвським [26]:

M_0 (мс) – діапазон значень кардіоінтервалів, що найчастіше зустрічаються.

AM_0 (%) (амплітуда моди) – кардіоінтервали, що потрапили в діапазон моди.

dX (мс) (варіаційний розмах) – максимальна амплітуда коливань значень кардіоінтервалів (регуляторних впливів). Визначається за різницею між максимальною та мінімальною тривалістю кардіоциклу.

ІВР (індекс вегетативної рівноваги) – показник, що характеризує баланс симпатичного та парасимпатичного відділів у регуляції роботи серця, розраховується за формулою: AM_0/dX . Чим менша величина ІВР, тим менша активність парасимпатичного відділу, і навпаки, чим більша величина ІВР, тим більша активність симпатичного відділу.

ВПР (вегетативний показник ритму) розраховується за формулою: $1/(M_0 * dX)$. Чим менша величина ВПР, тим більша активність парасимпатичного відділу та автономного контуру регуляції СР.

ПАПР (показник адекватності процесів регулювання) – характеризує відповідність між активністю симпатичного відділу вегетативної нервової системи і рівнем функціонування синусового вузла, розраховується за формулою: AM_0 / M_0 .

ІНРС (індекс напруження регуляторних систем) – показник активності регуляторних систем через особливості регуляції ЧСС. Розраховується за формулою: $(AM_0 / ((2 * dX) * M_0))$.

Статистичну обробку отриманих результатів проводили за допомогою програми IBM SPSS Statistics, версія 26. Для опису вибіркового розподілу вказували медіани та міжквартильний розкид (Me [25%; 75%]). Для порівняння незалежних вибірок використовували критерій Манна-Уїтні. Тест Спірмена застосовували для дослідження кореляційних зв'язків. Критичний рівень значущості при перевірці статистичних гіпотез приймався рівним $p = 0,05$.

Дослідження були проведені відповідно до основних біоетичних норм Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення науково-медичних досліджень із поправками (2000, з поправками 2008), Конвенції Ради Європи з прав людини та біомедицини (1997), Універсальної декларації з біоетики та прав людини (1997) [цит. за 18], а також розробленої в НДІ НУФВСУ «Програми комплексного біологічного дослідження особливостей функціональних можливостей спортсменів» [27]. Письмова інформована згода була отримана у кожного учасника дослідження.

Результати досліджень та їх обговорення. Відповідно до мети роботи досліджувалися особливості точності РРО кіберспортсменів (І група, КІБ) ІТ-спеціалістів (ІІ група, ІТ) та нетренованих осіб, які не займаються комп'ютерними іграми (НТ, контрольна ІІІ група) окремо для домінантної (ДМР) і субдомінантної (СДР) руки. Виявлено, що за спортивним стажем групи обстежених кіберспортсменів, ІТ спеціалістів та нетренованих осіб не відрізнялись (табл. 1). Стаж гри у відеоігри був вищим у кіберспортсменів порівняно з нетренованими особами ($p < 0,01$).

Таблиця 1

Вік та спортивний стаж обстежених кіберспортсменів (n=14),
ІТ-спеціалістів (n=13) та нетренованих осіб,
які не займаються комп'ютерними іграми (n=14), Me [25%, 75%]

Показники	I група, кіберспортсмени (n=14)	II група, ІТ-спеціалісти (n=13)	III група, нетреновані особи (n=14)
Вік, роки	19,00 [18,25; 19,00]	21,00* [20,00; 23,00]	18,00^ [18,00; 19,00]
Стаж гри у відеоігри, роки	5,50 [5,00; 7,00]	5,00 [0,00; 8,00]	0,50* [0,00; 2,00]
Спортивний стаж, роки	1,25 [0,00; 4,00]	0,50 [0,00; 6,00]	5,50 [1,25; 9,75]

Примітка: * $p < 0,01$ – значуща різниця з групою КІБ за критерієм Манна-Уїтні;
^ $p < 0,01$ – значуща різниця з групою ІТ за критерієм Манна-Уїтні.

В групі кіберспортсменів показники РРО були пов'язані як з віком, так і зі стажем гри у відеоігри ($p < 0,05$; ** $p < 0,01$), виявлені як прямі, так і обернені кореляційні зв'язки (табл. 2). Точність РРО за результатами трьох спроб зменшувалась з віком, але тільки за показниками для ДМР. Зі збільшенням стажу гри у відеоігри точність РРО збільшувалась, але тільки за показниками для СДР (табл. 2). Отримані результати цілком узгоджуються з відомими літературними даними про вплив занять спортом на формування та стан психофізіологічних функцій, а саме на зменшення функціональної асиметрії при здійсненні рухових реакцій [28, 29].

Таблиця 2

Кореляційні зв'язки показників реакції на рухомий об'єкт з віком і стажем гри
у відеоігри для групи кіберспортсменів (n=14), r_s

Показники	Кореляційні зв'язки, r_s	
	З віком	Зі стажем гри у відеоігри
Краща спроба в РРО		
Показник точності реакції на рухомий об'єкт, кількість точних влучань	-0,63*	–
Показник точності реакції на рухомий об'єкт, відсоток точних влучань	-0,63*	–
Сумарне запізнювання в реакції на рухомий об'єкт, мс	0,73**	–
Середнє випередження в реакції на рухомий об'єкт, мс	–	-0,56*
Середнє запізнювання в реакції на рухомий об'єкт, мс	-0,65*	0,58*
Співвідношення середнє випередження / середнє запізнювання	–	0,68**
Три спроби в РРО		
Сумарнє відхилення в реакції на рухомий об'єкт, мс	0,60*	-0,56*
Сумарнє запізнювання в реакції на рухомий об'єкт, мс	0,53*	–
Середнє відхилення в реакції на рухомий об'єкт, мс	0,59*	-0,56*
Середнє запізнювання в реакції на рухомий об'єкт, мс	–	-0,55*

Примітка: Кореляційні зв'язки для домінантної руки (ДМР); **кореляційні зв'язки для субдомінантної руки (СДР)**; *статистична значущість коефіцієнта кореляції $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Крім того, у кіберспортсменів за результатами кращої спроби з віком збільшувалися кількість і відсоток точних влучань, сумарний час реакцій запізнювання для ДМР, проте зменшувався середній час реакцій запізнювання для СДР. Зі збільшенням стажу збільшувався середній час реакцій запізнювання для ДМР, натомість зменшувався середній час реакцій випередження для СДР (табл. 2).

Результати обстеження кіберспортсменів у порівнянні з ІТ-спеціалістами та нетренованими особами, які не займаються комп'ютерними іграми, при виконанні кращої спроби і трьох спроб у РРО, представлені у табл. 3.

Таблиця 3

Психофізіологічні показники реакції на рухомий об'єкт
у групах КІБ (n=14), ІТ (n=13), НТ (n=14), Ме [25%; 75%]

Показники	ДМР/ СДР	Групи	За всі виконання	Кількість точних влучань	Реакції випередження	Реакції запізнення
За одну кращу спробу	ДМР	КІБ	30 виконань	6,50 [5,50; 7,75]	10,50 [9,00; 12,75]	12,50 [11,25; 14,00]
		ІТ		5,00* [4,00; 6,00]	11,00 [10,00; 14,00]	14,00 [11,00; 15,00]
		НТ		3,50* [3,00; 5,75]	12,50* [12,00; 14,00]	12,50 [11,00; 14,75]
	СДР	КІБ		7,50 [5,25; 8,00]	11,50 [9,25; 13,75]	11,50 [9,25; 13,00]
		ІТ		6,00 [4,00; 7,00]	13,00 [9,00; 14,00]	11,00 [9,00; 14,00]
		НТ		5,00* [5,00; 6,00]	14,00*^ [12,25; 15,00]	11,00 [9,25; 12,00]
Сума відхилень	ДМР	КІБ	458,00 [406,50; 89,00]	-	223,00 [181,50; 252,00]	224,00 [196,50; 290,50]
		ІТ	614,00* [494,00; 658,00]	-	248,00 [214,00; 412,00]	282,00* [240,00; 366,00]
		НТ	605,00* [536,00; 653,00]	-	295,00* [260,00; 341,00]	286,00* [245,50; 325,00]
	СДР	КІБ	466,00 [398,50; 502,50]	-	221,00 [189,50; 278,00]	208,00 [174,50; 240,00]
		ІТ	520,00* [478,00; 578,00]	-	258,00 [220,00; 376,00]	232,00 [194,00; 320,00]
		НТ	541,00* [484,00; 680,50]	-	307,00* [274,00; 385,50]	260,50 [176,50; 298,50]

Продовження таблиці 3

Середнє відхилення	ДМР	КІБ	15,25 [13,55; 16,28]	-	20,25 [18,00; 23,23]	19,00 [15,68; 22,00]
		ІТ	20,50* [16,50; 21,90]	-	23,80 [19,20; 31,70]	24,20* [20,10; 26,10]
		НТ	20,15* [17,88; 21,78]	-	26,10* [19,85; 29,40]	23,40* [18,05; 29,23]
	СДР	КІБ	15,55 [13,30; 16,73]	-	20,85 [17,50; 24,28]	18,80 [15,70; 20,23]
		ІТ	17,30* [15,90; 19,30]	-	23,50 [18,80; 25,30]	21,30* [18,40; 25,70]
		НТ	18,00* [16,10; 22,70]	-	23,10 [18,65; 25,65]	22,40 [16,78; 26,78]
За всі спроби (3)	ДМР	КІБ	90 виконань	17,00 [14,25; 21,00]	34,00 [33,00; 36,00]	38,00 [36,25; 41,25]
		ІТ		13,00* [12,00; 14,00]	38,00 [32,00; 45,55]	39,00 [33,00; 43,00]
		НТ		10,50* [7,00; 14,25]	41,50* [39,00; 43,75]	37,00 [34,00; 40,75]
	СДР	КІБ		16,50 [14,25; 19,00]	37,00 [34,25; 41,75]	35,00 [33,25; 39,25]
		ІТ		14,00 [11,00; 17,00]	38,00 [33,00; 46,00]	33,00 [31,00; 43,00]
		НТ		13,00* [12,00; 15,00]	40,00* [40,00; 45,75]	36,50 [31,50; 38,00]
Сума відхилень за всі спроби	ДМР	КІБ	1647,00 [1361,50; 1838,50]	-	769,00 [731,00; 924,50]	779,00 [658,50; 934,00]
		ІТ	2170,00* [1724,00; 2546,00]	-	1010,00* [756,00; 1406,00]	902,00* [848,00; 1164,00]
		НТ	2112,00* [1852,00; 2539,50]	-	1087,00* [1032,00; 1253,50]	930,00* [807,50; 1223,00]
	СДР	КІБ	1714,00 [1474,00; 2013,00]	-	847,00 [695,50; 1154,00]	815,00 [643,00; 955,00]
		ІТ	1896,00 [1664,00; 2036,00]	-	938,00 [838,00; 1218,00]	812,00 [710,00; 1098,00]
		НТ	2006,00 [1631,00; 2496,00]	-	1132,00* [1012,50; 1330,50]	873,00 [681,50; 1071,00]

Продовження таблиці 3

Середнє відхилення за всі спроби	ДМР	КІБ	18,30 [15,15; 20,40]	-	22,45 [21,58; 25,35]	20,30 [18,13; 23,38]
		ІТ	24,10* [19,20; 28,30]	-	29,70* [24,50; 31,20]	25,50* [22,20; 29,30]
		НТ	23,45* [20,58; 28,23]	-	26,35* [24,48; 31,80]	25,15* [23,55; 30,63]
	СДР	КІБ	19,05 [16,38; 22,33]	-	24,95 [20,25; 29,75]	22,45 [19,23; 23,95]
		ІТ	21,10 [18,50; 22,60]	-	27,70 [20,20; 29,40]	23,30 [21,30; 25,50]
		НТ	22,25 [18,10; 27,74]	-	27,70 [23,80; 31,23]	24,90 [20,65; 27,96]

Примітка: ДМР – домінуюча рука, СДР – субдомінуюча рука, КІБ – кіберспортсмени, ІТ – ІТ-спеціалісти, НТ – нетреновані особи, які не займаються комп'ютерними іграми; * – засвідчує статистично вірогідну різницю з групою КІБ ($p < 0,05$); ^ – засвідчує статистично вірогідну різницю з групою ІТ.

За низкою показників точності РРО для обох рук при виконанні кращої спроби кіберспортсмени були більш точними ($p < 0,05$) за ІТ-спеціалістів та нетренованих осіб, які не займаються комп'ютерними іграми (табл. 3). Однак, за кількістю точних влучань в кращій спробі для СДР між групами кіберспортсменів та ІТ-спеціалістів не виявлено статистично значущих відмінностей (табл. 3). Кіберспортсмени у порівнянні з контрольною групою продемонстрували вищу точність в РРО за кількістю точних влучань і кількістю реакцій випередження в кращій спробі для ДМР та СДР, за сумарним і середнім відхиленням для ДМР та СДР, за сумарним і середнім випередженням і запізнюванням для ДМР, а також за сумарним випередженням для СДР (табл. 3).

Аналіз результатів виконання трьох спроб в РРО продемонстрував наявність статистично значущих відмінностей ($p < 0,05$) за основними вимірюваними показниками точності РРО між виділеними групами обстежуваних кіберспортсменів та ІТ-спеціалістів, але тільки для домінуючої руки (табл. 3).

Проте, при порівнянні кіберспортсменів та нетренованих осіб виявлені статистично значущі відмінності ($p < 0,05$) за показниками точності РРО при виконанні трьох спроб як для домінуючої, так і для субдомінуючої руки, хоча для СДР таких відмінностей виявлено набагато менше, ніж для ДМР, відповідно 3 і 8 відмінностей. Кіберспортсмени у порівнянні з контрольною групою за показниками для СДР при виконанні трьох спроб продемонстрували вищу точність в РРО за кількістю точних влучань і кількістю реакцій випередження, а також за сумарним часом реакцій випередження. За іншими показниками РРО для СДР I і III групи за критерієм Манна-Уїтні значуще не відрізнялись (табл. 3).

Можна припустити, що виявлені відмінності між виділеними групами свідчать про особливості функціональної асиметрії півкуль головного мозку обстежених респондентів, про більшу функціональну спроможність СДР у кіберспортсменів та ІТ-спеціалістів у порівнянні з нетренованими особами.

В усіх трьох групах обстежуваних асиметрія між домінуючою та субдомінуючою рукою за показниками точності РРО була відсутня, значущих відмінностей за критерієм Манна-Уїтні не виявлено. За даними фахівців з психофізіології спорту, зменшення функціональної асиметрії у досвідчених спортсменів свідчить про оптимальну тактику тренувань [30].

У нетренованих осіб, які не займаються кіберспортом, отримали, так би мовити, очікуваний розподіл кореляційних зв'язків між показниками РРО та ВСР: при виконанні тесту відповідною рукою маємо більшу кількість зв'язків саме між однойменними показниками (РРО правою рукою – ВСР при роботі правою рукою, РРО лівою рукою – ВСР при роботі лівою рукою) (рис. 1). Можемо припустити, що при виконанні завдання відповідною рукою в мозку складається латералізована до завдання функціональна система, спрямована на його виконання. В цілому кількість зв'язків велика, що вказує на наявність сформованої в результаті адаптації до фізичних навантажень системи регуляції «мозок – серце» [31].

У кіберспортсменів значно більше зв'язків між показниками виконання тесту РРО правою рукою і показниками ВСР; причому, здавалося б, парадоксально, з показниками ВСР при виконанні тесту РРО лівою рукою кількість цих зв'язків найбільша, що вказує на те, що ліва півкуля бере на себе жорсткий контроль за виконанням завдань, не зважаючи на те, якою рукою вони виконуються (рис. 1). Зв'язків між показниками РРО при виконанні тесту лівою рукою і показниками ВСР значно менше. Можемо констатувати асиметрію в регуляції ВСР із домінуванням лівої півкулі, що узгоджується із уявленнями про метаконтроль рухових виконавчих функцій лівою півкулею [32, 33, 34].

Цікавими виявились результати ІТ-спеціалістів. У цих обстежуваних кількість кореляційних зв'язків між показниками виконання тесту РРО і показниками ВСР найменша із усіх груп (рис. 1). Це може вказувати на менше напруження функціональних систем мозку при виконанні таких завдань, їхнє забезпечення іншими регуляторними системами мозку, менше емоційне реагування на такі завдання. Сам розподіл зв'язків схожий на той, який виявлений для спортсменів групи, що не займаються кіберспортом.

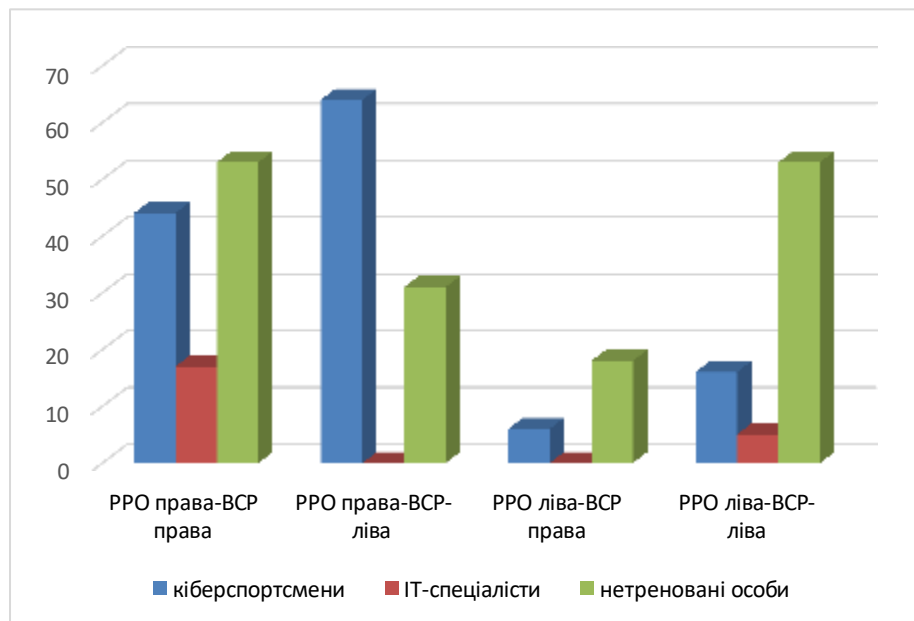


Рис. 1. Кількість статистично значущих кореляційних зв'язків між показниками РРО та ВСР у групах кіберспортсменів, ІТ-спеціалістів і нетренованих осіб, які не займаються комп'ютерними іграми при виконанні тесту РРО (краща спроба).

Примітки: РРО права/РРО ліва – виконання тесту на РРО правою/лівою рукою відповідно, ВСР права/ВСР ліва – показники ВСР під час виконання тесту РРО правою/лівою рукою відповідно.

Отримані результати узгоджуються з відомими літературними даними: як зазначають більшість дослідників, для респондентів, які грають у комп'ютерні ігри,

характерні в першу чергу висока швидкість реакції, здатність одночасно відстежувати велику кількість об'єктів та їх динаміку тощо [14, 15, 35, 36]. Зазначається, що показники РРО можуть використовуватися у якості модельних характеристик спортсменів ігрових видів спорту [37].

Загалом за показниками РРО кіберспортсмени у порівнянні з ІТ-спеціалістами та нетренованими особами, які не займаються комп'ютерними іграми, продемонстрували вищі результати, більшість відмінностей досягли рівня значущості ($p < 0,05$), що цілком підтверджує відомі літературні дані про вплив занять різними видами спорту на формування і стан психофізіологічних функцій [28, 29] та доповнює раніше отримані результати при тестуванні спортсменів в інших видах спорту [38].

Результати психофізіологічного тестування кіберспортсменів відбивають адаптивні когнітивні ефекти тренувань. J. Feng, I. Spence & J. Pratt (2007) у своїй роботі зазначають, що відеоігри впливають на формування та розвиток просторових здібностей спортсменів [цит. за 15]. В цілому, сенсомоторні здібності (сприйняття часу і простору, просторово-динамічна чутливість, чутливість кінестетичної сенсомоторної системи тощо), з одного боку, обумовлюють високу ефективність гравців в спортивній діяльності, а з іншого – відеоігри впливають на формування та розвиток цих здібностей [15, 39].

Так, у роботі A. Sousa (2020) досліджено динаміку когнітивних показників до та після сеансу кіберспортивних ігор у двох типах кіберспортивних ігор (FPS та MOBA). Показано, що психомоторна швидкість, виміряна з допомогою тесту FTT, була значно вищою після ігрового сеансу; збільшився показник розумової гнучкості у тесті «числова послідовність» [39].

За результатами досліджень M. W. G. Dye, C. S. Green, D. Bavelier (2009), аналіз причинно-наслідкового зв'язку між «ігровою діяльністю» та збільшенням швидкості розумової обробки виявив значне скорочення латентного періоду часу реакції на фоні підвищення точності рухів без збільшення імпульсивності [40]. В роботі B. Bediou, D. M. Adams, R. E. Mayer, E. Tipton, C. S. Green, D. Bavelier (2018) доведено, що не всі ігри однаково впливають на когнітивні здібності. Наприклад, екшн-відеоігри значно розширюють увагу та просторове мислення, і не вибагливі до прояву сприйняття [41].

ВСР має важливе значення для динамічного моніторингу працездатності, своєчасної профілактики втоми та попередження перетренованості гравців [3]. Показники ВСР у стані спокою дозволяють визначити загальний рівень втоми [42]. Щодо реактивності кардіо- та гемодинамічних параметрів кіберспортсменів зазначається, що під час змагань у гравців спостерігається значний приріст гемодинамічних показників – систолічного і діастолічного артеріального тиску [43]. Крім того, якщо середні значення ЧСС тренувального навантаження в кіберспорті становлять 120-140 ударів за хвилину [44], пікова ЧСС, що реєструється під час змагань, досягає 160-190 ударів за хвилину [5, 44]. Однак, як зазначають дослідники, варіабельність кардіо- та гемодинамічних показників, а також частоти дихання у геймерів залежить від типу (жанру) комп'ютерної гри [39].

Таким чином, виявлені відмінності показників РРО кіберспортсменів у порівнянні з ІТ-спеціалістами та нетренованими особами, які не займаються комп'ютерними іграми, а також особливості регуляторних механізмів організму кіберспортсменів у зв'язку із успішністю виконання реакції на рухомий об'єкт цілком узгоджуються з відомими літературними даними і, безумовно, можуть мати прогностичну цінність та використовуватися для оптимізації спортивного вдосконалення в кіберспорті.

Висновки

1. Аналіз та узагальнення науково-методичної літератури дозволив з'ясувати, що специфіка тренувальної і змагальної діяльності в кіберспорті накладає свій відбиток на рівень розвитку сенсомоторних реакцій гравців.

2. Кіберспортсмени продемонстрували вищу точність в реакції на рухомий об'єкт (РРО) порівняно із ІТ-спеціалістами та нетренованими особами, які не займаються комп'ютерними іграми.

3. Виявлено кореляцію точності РРО у обстежених кіберспортсменів з показниками варіабельності серцевого ритму (ВСР) під час виконання завдання. Більшій точності РРО кіберспортсменів відповідає більша активність симпатичного відділу у регуляції роботи серця під час виконання завдання.

4. У групах кіберспортсменів і нетренованих осіб кількість кореляційних зв'язків між показниками РРО і ВСР значно більша, ніж у ІТ-спеціалістів – 130, 155 і 22 відповідно. Розподіл кореляційних зв'язків між показниками РРО і ВСР при виконанні завдання правою і лівою рукою наступний: для кіберспортсменів 108 проти 22, для нетренованих осіб – 84 проти 71, для ІТ спеціалістів – 17 проти 5. Виявлена асиметрія зв'язків у групі кіберспортсменів вказує на домінування лівої півкулі в регуляції серцевого ритму незалежно від того, якою рукою виконується завдання.

5. Виявлені відмінності РРО кіберспортсменів у порівнянні з ІТ-спеціалістами та нетренованими особами, які не займаються комп'ютерними іграми, можуть мати прогностичну цінність і використовуватися для оптимізації спортивного вдосконалення в кіберспорті.

Перспективи подальших досліджень.

Цікавим є подальше дослідження з проведенням порівняльного аналізу психофізіологічних показників у спортсменів, що спеціалізуються в різних кіберспортивних дисциплінах та в процесі спортивної діяльності зазнають впливу навантажень різних типів, а також проведення кореляційного аналізу між досліджуваними психофізіологічними показниками та результатами змагальної діяльності кіберспортсменів.

Колектив авторів висловлює щире подяку кафедрі кіберспорту та інформаційних технологій НУФВСУ, зав. кафедри О. А. Шинкарук та Науково-дослідному центру Навчально-наукового інституту здоров'я, реабілітації та фізичного виховання НУФВСУ, директору НДЦ І. О. Козут, а також студентам і всім причетним за участь в організації і проведенні досліджень.

Список використаної літератури

1. Hasan Y., Vègue L., Bushman B. J. Violent video games stress people out and make them more aggressive. *Aggressive Behavior*. 2013. Vol. 39 (1). pp. 64–70. DOI: 10.1002/ab.21454
2. Machado S., de Oliveira Sant'Ana L., Cid L. et al. Impact of victory and defeat on the perceived stress and autonomic regulation of professional eSports athletes. *Frontiers in Physiology*. 2022. Vol. 13. Article 987149. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.987149
3. Meeusen R., Duclos M., Foster C. et al. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2013. Vol. 45 (1). pp. 186–205. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318279a10a
4. Коробейніков Г. В., Коханевич А. І. Особливості психічного стану у кваліфікованих борців. *Єдиноборства*. 2024. № 2 (32). С. 52–60.
5. Valladão S. P., Middleton J., Andre T. L. Esport: fortnite acutely increases heart rate of young men. *International Journal of Exercise Science*. 2020. Vol. 13 (6). pp. 1217–1227.
6. Behnke M., Kosakowski M., Kaczmarek L. D. Social challenge and threat predict performance and cardiovascular responses during competitive video gaming. *Psychology of Sport and Exercise*. 2020. Vol. 46. Article 101584. DOI: 10.1016/j.psychsport.2019.101584
7. Лисенко О., Федорчук С., Колосова О., Виноградов В. Вплив вегетативної регуляції серцевого ритму на прояв фізичної працездатності кваліфікованих спортсменів (І повідомлення). *Спортивна наука та здоров'я людини*. 2020. № 1 (3). С. 70–87. DOI: 10.28925/2664-2069.2020.1.6
8. Лисенко О., Федорчук С., Колосова О., Тимошенко О. Адаптація до напруженої м'язової діяльності та особливості вегетативної регуляція варіабельності серцевого ритму спортсменів (II повідомлення). *Спортивна наука та здоров'я людини*. 2023. № 2 (10). С. 119–141. DOI: 10.28925/2664-2069.2023.210

9. Макаренко М. В., Лизогуб В. С., Юхименко Л. І. Серцевий ритм у студентів з різними індивідуально-типологічними властивостями вищої нервової діяльності за умов емоційного стресу. *Фізіологічний журнал*. 2003. № 49 (1). С. 28–33.
10. Лизогуб В. С., Коваленко С. О., Дзюбан Ю. О., Кудій Л. І., Грищенко О. В., Борейко Т. І. Особливості реакцій центральної гемодинаміки та регуляції серцевого ритму на ортопробу осіб з різним індексом маси тіла. *Вісник морфології*. 2008. № 14 (1). С. 109–114.
11. Макаренко М. В., Лизогуб В. С., Юхименко Л. І., Черненко Н. П. Гемодинаміка головного мозку та серцевий ритм при розумовій діяльності людей з різними індивідуально-типологічними властивостями вищих відділів центральної нервової системи. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського Серія «Біологія, хімія»*. Том 25 (64). 2012. № 4. С. 136–143.
12. Лизогуб В. С., Макарчук М. Ю., Юхименко Л. І., Хоменко С. М., Черненко-Курагіна Н. П. Хвильові процеси регуляції серцевого ритму осіб з різними типами гемодинаміки під час проби head-up-tilt. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. V. (13). Issue 121. 2017. P. 10–14. URL: <https://seanewdim.com/wp-content/uploads/2021/03/The-wave-processes-of-regulation-the-heart-V.-S.-Lizogub-M.-Yu.-Makarchuk-L.-I.-Yukhymenko-S.-M.-Khomenko-N.-P.-Chernenko-Kuragina.pdf>
13. Gabbay F. H. Behavior-Genetic Strategies in the Study of Emotion. *Psychological Science*. 1992. Vol. 3 (1). pp. 50–55. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1992.tb00256.x>
14. Шинкарук О. Модель ігрової підготовленості гравців у кіберспорті. *Спортивний вісник Придніпров'я. Науково-практичний журнал*. 2022. № 2. С. 158–168. DOI: 10.32540/2071-1476-2022-2-158
15. Пятисоцька С. С., Романенко В. В., Ашанін В. С., Єфременко А. М. Аналіз сенсомоторних здібностей та властивостей нервової системи гравців різних кіберспортивних дисциплін. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 15 : Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт)* : зб. наук. праць. За ред. О. В. Тимошенка. Київ : Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2021. Вип. 11 (143). С. 125–131. DOI: 10.31392/NPU-nc.series15.2021.11(143).26 URL: <http://enpuir.npu.edu.ua/handle/123456789/36253>
16. Пятисоцькая С. С., Романенко В. В., Голоха В. Л. Сравнительный анализ сенсомоторных реакций единоборцев и игроков киберспортивной дисциплины DOTA 2. *Єдиноборства*. 2020. № 1 (15). С. 56–66. DOI: <https://doi.org/10.15391/ed.2020-1.06>
17. Луць Ю. П., Лук'янцева Г. В., Федорчук С. В. Психофізіологічні показники кіберспортсменів в оптимальному режимі тестування. *Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту* : Міжнар. наук.-практ. конф. Київ – Черкаси, Україна, НУФВСУ, 7–8 груд. 2023 р. URL: <https://uni-sport.edu.ua/content/mizhнародna-naukovo-praktychna-konferenciya-adaptaciyni-psyhofiziologichni-problemy>
18. Луць Ю., Лук'янцева Г., Федорчук С. Прояв нейродинамічних властивостей кіберспортсменів у зв'язку із рівнем стресу, саморегуляції, адаптивності та інтелекту. *Cherkasy University Bulletin: Biological Sciences Series* 2023. № 2. С. 76–86. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-2-76-86
19. Пятисоцька С. С., Подрігало Л. В., Романенко В. В., Петренко Ю. І., Алексенко Я. В. Порівняльний аналіз психофізіологічних показників спортсменів єдиноборств та кіберспорту за допомогою факторного методу. *Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15 : Науково- педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт)* : зб. наукових праць. За ред. О. В. Тимошенка. Київ : Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2024. Вип. 3 (175). С. 144–148. DOI: [https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.3\(175\).27](https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.3(175).27)
20. Korobeinikova I., Kokun O., Raab M., Korobeinikova L., Korobeynikov G., Kostiuhenko V., Aksutin V., Dekha N. Psychophysiological states of elite athletes after critical life events. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*. 2024. Vol. 28 (2). pp. 141–146. DOI: 10.15561/26649837.2024.0208
21. Diagnostic automated complex «CARDIO+» : Instructions for operation. Nizhin: W.p. 2016. 28 p. [in Ukrainian]
22. 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. *Bulletin of problems in biology and medicine*. 2023. Issue 4 (171). pp. 391–402. DOI: 10.29254/2077-4214-2023-4-171-391-402

23. Компьютерная система Н. В. Макаренко и В. С. Лизогуба «Диагност-1М» (инструкция пользователя). Киев – Черкасы. 2015. 63 с.
24. Макаренко М. В., Лизогуб В. С., Безкопильний О. П. Методичні вказівки до практикуму з диференціальної психофізіології та фізіології вищої нервової діяльності людини. Київ-Черкаси. 2014. 102 с.
25. Макаренко М. В., Лизогуб В. С. Реакція на рухомий об'єкт як тест на визначення зрівноваженості нервових процесів. *Вісник національного університету оборони України*. 2015. № 1 (44). С. 142–147.
26. Флюнт І. С., Тимочко О. Б., Гривнак Р. Ф., Оліярник О. Я., Романський Р. Ю., Ткачук С. П. Зв'язки показника активності регуляторних систем Баєвського з параметрами варіабельності серцевого ритму. *Медична гідрологія та реабілітація*. 2011. Т. 9. № 2. С. 102–108. URL: <http://dSPACE.nbuu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/41269/10-Flyunt.pdf>
27. Шинкарук О. А., Лисенко О. М., Гуніна Л. М., Карленко В. П., Земцова І. І., Олішевський С. В. та ін. Медикобіологічне забезпечення підготовки спортсменів збірних команд України з олімпійських видів спорту. К. : Олімпійська література, 2009. 144 с.
28. Макаренко М. В., Лизогуб В. С. Онтогенез психофізіологічних функцій людини. Черкаси. 2011. 256 с.
29. Макаренко М. В., Лизогуб В. С., Безкопильний О. П. Нейродинамічні властивості спортсменів різної кваліфікації та спеціалізації. *Актуальні проблеми фізичної культури і спорту*. 2004. № 4 С. 105–109.
30. Romanenko V., Podrihalo O., Podrigalo L., Iermakov S., Sotnikova-Meleshkina Z., Bobrova O. The study of functional asymmetry in students and schoolchildren practicing martial arts. *Physical education of students*. 2020. № 24 (3). pp. 154–161. DOI: <https://doi.org/10.15561/20755279.2020.0305>
31. Matusik P. S., Zhong C., Matusik P. T., Alomar O., Stein P. K. Neuroimaging Studies of the Neural Correlates of Heart Rate Variability: A Systematic Review. *Journal of clinical medicine*. 2023. № 12 (3). Article 1016. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm12031016>
32. Куценко Т. В. Міжпівкульне перенесення інформації при виконанні складного тесту Струпа із залученням просторової ознаки у правшів і лівшів. *Вісник Черкаського університету. Серія : Біологічні науки*. 2017. № 1. С. 37–47.
33. Mutha P. K., Haaland K. Y., Sainburg R. L. The effects of brain lateralization on motor control and adaptation. *J. Mot. Behav.* 2012. № 44 (6). pp. 455–469. DOI: 10.1080/00222895.2012.747482. PMID: 23237468; PMCID: PMC3549328.
34. Sainburg R. L. Laterality of Basic Motor Control Mechanisms: Different Roles of the Right and Left Brain Hemispheres. In *Laterality in Sports: Theories and Applications* (pp. 155–177). Elsevier. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801426-4.00008-0>
35. Подрігало Л. В., Пятисоцька С. С. Професіографічний аналіз спортивної діяльності кіберспортсменів, що спеціалізуються у різних ігрових жанрах. *Спортивні ігри*. 2024. № 1 (31). С. 51–64. DOI: <https://doi.org/10.15391/si.2024-1.05>
36. Подригало Л. В., Ровная О. А., Сокол К. М., Голодько Е. А. Физиолого-гигиенические аспекты киберспорта. *Науково-методичні основи використання інформаційних технологій в галузі фізичної культури та спорту*. 2018. № 2. С. 90–93.
37. Федорчук С., Петровська Т., Арнаутова Л., Когут І., Петрушевський Є. Реакція на рухомий об'єкт та властивості уваги у кваліфікованих гандболісток. *Теорія і методика фізичного виховання і спорту*. 2023. № 1. С. 68–74. DOI: <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2023.1.68-74>
38. Федорчук С., Куценко Т., Ярошенко О., Лисенко О., Шинкарук О. Функціональний стан центральної нервової системи спортсменів-веслувальників за показниками реакції на рухомий об'єкт. *Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія*. 2022. №1. С. 42–48. DOI: <https://doi.org/10.32652/spmed.2022.1.42-48>
39. Sousa A., Ahmad S. L., Hassan T. et al. Physiological and cognitive functions following a discrete session of competitive esports gaming. *Frontiers in Psychology*. 2020. Vol. 11. Article 1030. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.01030
40. Dye M. W. G., Green C. S., Bavelier D. Increasing Speed of Processing With Action Video Games. *Current Directions in Psychological Science*. 2009. Vol. 18 (6). pp. 321–326. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01660.x>

41. Bediou B., Adams D. M., Mayer R. E., Tipton E., Green C. S., Bavelier D. Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills. *Psychological Bulletin*. 2018. Vol. 144 (1). pp. 77–110. DOI: <https://doi.org/10.1037/bul0000130>
42. Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*. 2014. Vol. 5. Article 73. DOI: 10.3389/fphys.2014.00073
43. Porter A. M., Goolkasian P. Video games and stress: how stress appraisals and game content affect cardiovascular and emotion outcomes. *Frontiers in Physiology*. 2019. Vol. 10. Article 967. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.00967
44. Andre T. L., Walsh S. M., Valladão S., Cox D. Physiological and perceptual response to a live collegiate esports tournament. *International Journal of Exercise Science*. 2020. Vol. 13 (6). pp. 1418–1429.

References

1. Hasan Y., Bègue L., Bushman B. J. (2013) Violent video games stress people out and make them more aggressive. *Aggressive Behavior*. Vol. 39 (1). pp. 64–70. DOI: 10.1002/ab.21454
2. Machado S., de Oliveira Sant'Ana L., Cid L. et al. (2022) Impact of victory and defeat on the perceived stress and autonomic regulation of professional eSports athletes. *Frontiers in Physiology*. Vol. 13. Article 987149. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.987149
3. Meeusen R., Duclos M., Foster C. et al. (2013) Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 45 (1). pp. 186–205. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318279a10a
4. Korobeinikov H. V., Kokhanevych A. I. (2024) Osoblyvosti psykhychnoho stanu u kvalifikovanykh bortsiv. *Yedynoborstva*. № 2 (32). S. 52–60. [in Ukrainian].
5. Valladão S. P., Middleton J., Andre T. L. (2020) Esport: fortnite acutely increases heart rate of young men. *International Journal of Exercise Science*. Vol. 13 (6). pp. 1217–1227.
6. Behnke M., Kosakowski M., Kaczmarek L. D. (2020) Social challenge and threat predict performance and cardiovascular responses during competitive video gaming. *Psychology of Sport and Exercise*. Vol. 46. Article 101584. DOI: 10.1016/j.psychsport.2019.101584
7. Lysenko O., Fedorchuk S., Kolosova O., Vynohradov V. (2020) Vplyv vehetatyvnoi rehuliatcii sertsevoho rytmu na proiav fizychnoi pratsezdatsnosti kvalifikovanykh sportsmeniv (I povidomlennia). *Sportyvna nauka ta zdorov'ia liudyny*. № 1 (3). S. 70–87. DOI: 10.28925/2664-2069.2020.1.6 [in Ukrainian].
8. Lysenko O., Fedorchuk S., Kolosova O., Tymoshenko O. (2023) Adaptatsiia do napruzhenoi miazovoi diialnosti ta osoblyvosti vehetatyvnoi rehuliatcii variabelnosti sertsevoho rytmu sportsmeniv (II povidomlennia). *Sportyvna nauka ta zdorov'ia liudyny*. № 2 (10). S. 119–141. DOI: 10.28925/2664-2069.2023.2.10 [in Ukrainian].
9. Makarenko M. V., Lyzohub V. S., Yukhymenko L. I. (2003). Sertsevyi rytm u studentiv z riznymy indyvidualno-typolohichnymy vlastyvoistamy vyshchoi nervovoi diialnosti za umov emotsiinoho stresu. *Fiziolohichniy zhurnal*. № 49 (1). S. 28–33. [in Ukrainian].
10. Lyzohub V. S., Kovalenko S. O., Dziuban Yu. O., Kudii L. I., Hryshchenko O. V., Boreiko T. I. (2008). Osoblyvosti reaktsii tsentralnoi hemodynamiky ta rehuliatcii sertsevoho rytmu na ortoprobuvannia osib z riznym indeksom masy tila. *Visnyk morfologii*. № 14 (1). S. 109–114. [in Ukrainian].
11. Makarenko M. V., Lyzohub V. S., Yukhymenko L. I., Chernenko N. P. (2012). Hemodynamika holovnoho mozku ta sertsevyi rytm pry rozumovii diialnosti liudei z riznymy indyvidualno-typolohichnymy vlastyvoistamy vyshchychk viddiliv tsentralnoi nervovoi systemy. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho Serii «Biolohiia, khimiia»*. T. 25 (64). № 4. S. 136–143. [in Ukrainian].
12. Lyzohub V. S., Makarchuk M. Yu., Yukhymenko L. I., Khomenko S. M., Chernenko-Kurahina N. P. (2017). Khvylovi protsesy rehuliatcii sertsevoho rytmu osib z riznymy typamy hemodynamiky pid chas proby head-up-tilt. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. V. (13). Issue 121. P. 10–14. URL: <https://seanewdim.com/wp-content/uploads/2021/03/The-wave-processes-of-regulation-the-heart-V.-S.-Lizogub-M.-Yu.-Makarchuk-L.-I.-Yukhymenko-S.-M.-Khomenko-N.-P.-Chernenko-Kurahina.pdf> [in Ukrainian].

13. Gabbay F. H. (1992) Behavior-Genetic Strategies in the Study of Emotion. *Psychological Science*. Vol. 3 (1). pp. 50–55. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1992.tb00256.x>
14. Shynkaruk O. (2022). Model ihrovoi pidhotovlenosti hravtsiv u kibersporti. *Sportyvnyi visnyk Prydniprovia. Naukovo-praktychnyi zhurnal*. № 2. S. 158–168. DOI: 10.32540/2071-1476-2022-2-158 [in Ukrainian].
15. Piatysotska S. S., Romanenko V. V., Ashanin V. S., Yefremenko A. M. (2021) Analiz sensomotornykh zdibnostei ta vlastyvostei nervovoi systemy hravtsiv riznykh kibersportyvnykh dystsyplin. *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M. P. Drahomanova. Seriya 15 : Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoi kultury (fizychna kultura i sport) : zb. nauk. prats. Za red. O. V. Tymoshenka*. Kyiv : Vyd-vo NPU imeni M. P. Drahomanova. Vyp. 11 (143). S. 125–131. DOI: 10.31392/NPU-nc.series15.2021.11(143).26 URL: <http://enpuir.npu.edu.ua/handle/123456789/36253> [in Ukrainian].
16. Piatysotskaia S. S., Romanenko V. V., Holokha V. L. (2020) Sravnytelnyi analiz sensomotornykh reaktsyi edynobortsev y yhrokov kybersportyvnoi dystsyplyny DOTA 2. *Yedynoborstva*. № 1 (15). S. 56–66. DOI: <https://doi.org/10.15391/ed.2020-1.06> [in Ukrainian].
17. Luts Yu. P., Lukiantseva H. V., Fedorchuk S. V. (2023) Psykhofiziologichni pokaznyky kibersportsmeniv v optimalnomu rezhymi testuvannia. *Adaptatsiini ta psykhofiziologichni problemy fizychnoi kultury i sportu : Mizhnar. nauk.-prakt. konf. Kyiv – Cherkasy, Ukraina, NUFVSU, 7–8 hrud.* URL: <https://uni-sport.edu.ua/content/mizhnarodna-naukovo-praktychna-konferenciya-adaptaciyni-psyhofiziologichni-problemy> [in Ukrainian].
18. Luts Yu., Lukiantseva H., Fedorchuk S. (2023) Proiav neirodynamichnykh vlastyvostei kibersportsmeniv u zviazku iz rivnem stresu, samorehuliatcii, adaptyvnosti ta intelektu. *Cherkasy University Bulletin: Biological Sciences Series*. № 2. S. 76–86. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-2-76-86 [in Ukrainian].
19. Piatysotska S. S., Podrihalo L. V., Romanenko V. V., Petrenko Yu. I., Aleksienko Ya. V. (2024) Porivnialnyi analiz psykhofiziologichnykh pokaznykiv sportsmeniv yedynoborstv ta kibersportu za dopomohoiu faktornoho metodu. *Naukovyi chasopys Ukrainskoho derzhavnogo universytetu imeni Mykhaila Drahomanova. Seriya 15 : Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoi kultury (fizychna kultura i sport) : zb. naukovykh prats. Za red. O. V. Tymoshenka*. Kyiv : Vyd-vo UDU imeni Mykhaila Drahomanova. Vyp. 3 (175). S. 144–148. DOI: [https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.3\(175\).27](https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.3(175).27) [in Ukrainian].
20. Korobeinikova I., Kokun O., Raab M., Korobeinikova L., Korobeynikov G., Kostiuhenko V., Aksutin V., Dekha N. (2024) Psychophysiological states of elite athletes after critical life events. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*. Vol. 28 (2). pp. 141–146. DOI: 10.15561/26649837.2024.0208.
21. Diagnostic automated complex «CARDIO+»: Instructions for operation. Nizhin: W.p. 2016. 28 p. [in Ukrainian]
22. Luts Yu. P., Lukyantseva H. V., Bakunovskiy O. M., Fedorchuk S. V., Kolosova O. V. (2023) 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. *Bulletin of problems in biology and medicine*. Issue 4 (171). pp. 391–402. DOI: 10.29254/2077-4214-2023-4-171-391-402
23. Kompiuternaia systema N. V. Makarenka y V. S. Lyzohuba (2015) «Dyahnost–1M» (ynstruktsiia polzovatel'ia). Kyev – Cherkassy. 63 s. [in Ukrainian].
24. Makarenko M. V., Lyzohub V. S., Bezcopylnyi O. P. (2014) Metodychni vkazivky do praktykumu z dyferentsialnoi psykhofiziologii ta fiziologii vyshchoi nervovoi diialnosti liudyny. Kyiv-Cherkasy. 102 s. [in Ukrainian].
25. Makarenko M. V., Lyzohub V. S. (2015) Reaktsiia na rukhomyi ob'iekt yak test na vyznachennia zrivnovazhenosti nervovykh protsesiv. *Visnyk natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy*. № 1 (44). S. 142–147. [in Ukrainian].
26. Fliunt I. S., Tymochko O. B., Hryvnyak R. F., Oliiarnyk O. Ya., Romanskyi R. Yu., Tkachuk S. P. (2011) Zviazky pokaznyka aktyvnosti rehuliatornykh system Baievskoho z parametramy variabelnosti sertsevoho rytmu. *Medychna hidrolohiia ta rehabilitatsiia*. T. 9. № 2. S. 102–108. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/41269/10-Flyunt.pdf> [in Ukrainian].
27. Shynkaruk O. A., Lysenko O. M., Hunina L. M., Karlenko V. P., Zemtsova I. I., Olishevskiy S. V. ta in. (2009) Medykobiologichne zabezpechennia pidhotovky sportsmeniv zbirnykh komand Ukrainy z olimpiiskykh vydiv sportu. K. : Olimpiiska literatura, 144 s. [in Ukrainian].

28. Makarenko M. V., Lyzohub V. S. (2011) Ontohenez psykhofiziologichnykh funktsii liudyny. Cherkasy. 256 s. [in Ukrainian].
29. Makarenko M. V., Lyzohub V. S., Bezokopylnyi O. P. (2004) Neurodynamichni vlastyvoli sportsmeniv riznoi kvalifikatsii ta spetsializatsii. *Aktualni problemy fizychnoi kultury i sportu*. № 4 S. 105–109. [in Ukrainian].
30. Romanenko V., Podrihalo O., Podrigalo L., Iermakov S., Sotnikova-Meleshkina Z., Bobrova O. (2020) The study of functional asymmetry in students and schoolchildren practicing martial arts. *Physical education of students*. № 24 (3). pp. 154–161. DOI: <https://doi.org/10.15561/20755279.2020.0305>
31. Matusik P. S., Zhong C., Matusik P. T., Alomar O., Stein P. K. (2023). Neuroimaging Studies of the Neural Correlates of Heart Rate Variability: A Systematic Review. *Journal of clinical medicine*. № 12 (3). Article 1016. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm12031016>
32. Kutsenko T. V. (2017) Mizhpivkulne perenesennia informatsii pry vykonanni skladnoho testu Strupa iz zaluchenniam prostorovoi oznaky u pravshiv i livshiv. *Visnyk Cherkaskoho universytetu. Seriiia : Biologichni nauky*. № 1. S. 37–47. [in Ukrainian].
33. Mutha P. K., Haaland K. Y., Sainburg R. L. (2012) The effects of brain lateralization on motor control and adaptation. *J. Mot. Behav.* № 44 (6). P. 455–469. DOI: 10.1080/00222895.2012.747482.
34. Sainburg R. L. (2016). Laterality of Basic Motor Control Mechanisms: Different Roles of the Right and Left Brain Hemispheres. In *Laterality in Sports: Theories and Applications* (pp. 155–177). Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801426-4.00008-0>
35. Podrihalo L. V., Piatysotska S. S. (2024) Profesiografichniy analiz sportyvnoi diialnosti kibersportsmeniv, shcho spetsializuiutsia u riznykh ihrovnykh zhanrakh. *Sportyvni ihry*. № 1 (31). S. 51–64. DOI: <https://doi.org/10.15391/si.2024-1.05> [in Ukrainian].
36. Podryhalo L. V., Rovnaia O. A., Sokol K. M., Holodko E. A. (2018) Fyzyoloho-hyhyenycheskye aspekty kybersporta. *Naukovo-metodychni osnovy vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii v haluzi fizychnoi kultury ta sportu*. № 2. S. 90–93. [in Ukrainian].
37. Fedorchuk S., Petrovska T., Arnautova L., Kohut I., Petrushevskiy Ye. (2023) Reaktsiia na rukhomyi obiekt ta vlastyvoli uvahy u kvalifikovanykh handbolistok. *Teoriia i metodyka fizychnoho vykhovannia i sportu*. № 1. S. 68–74. DOI: <https://doi.org/10.32652/tmfvs.2023.1.68-74> [in Ukrainian].
38. Fedorchuk S., Kutsenko T., Yaroshenko O., Lysenko O., Shynkaruk O. (2022) Funktsionalnyi stan tsentralnoi nervovoi systemy sportsmeniv-vesluvalnykiv za pokaznykamy reaktsii na rukhomyi obiekt. *Sportyvna medytsyna, fizychna terapiia ta erhoterapiia*. №1. S. 42–48. DOI: <https://doi.org/10.32652/spmed.2022.1.42-48> [in Ukrainian].
39. Sousa A., Ahmad S. L., Hassan T. et al. (2020) Physiological and cognitive functions following a discrete session of competitive esports gaming. *Frontiers in Psychology*. Vol. 11. Article 1030. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.01030
40. Dye M. W. G., Green C. S., Bavelier D. (2009) Increasing Speed of Processing With Action Video Games. *Current Directions in Psychological Science*. Vol. 18 (6). pp. 321–326. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01660.x>
41. Bediou B., Adams D. M., Mayer R. E., Tipton E., Green C. S., Bavelier D. (2018) Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills. *Psychological Bulletin*. Vol. 144 (1). pp. 77–110. DOI: <https://doi.org/10.1037/bul0000130>
42. Buchheit M. (2014) Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*. Vol. 5. Article 73. DOI: 10.3389/fphys.2014.00073
43. Porter A. M., Goolkasian P. (2019) Video games and stress: how stress appraisals and game content affect cardiovascular and emotion outcomes. *Frontiers in Physiology*. Vol. 10. Article 967. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.00967
44. Andre T. L., Walsh S. M., Valladao S., Cox D. (2020) Physiological and perceptual response to a live collegiate esports tournament. *International Journal of Exercise Science*. Vol. 13 (6). pp. 1418–1429.

Luts Yu. P., Bakunovskiy O. M., Lukyantseva H. V., Kutsenko T. V., Fedorchuk S. V.
ACCURACY OF REACTION TO A MOVING OBJECT AND HEART RATE VARIABILITY OF CYBER-ATHLETES

Introduction. This work is devoted to the problem of studying the accuracy and speed of sensorimotor reactions, *autonomic* regulation of heart rate variability in e-athletes. *The purpose of the study was to evaluate the autonomic regulation of heart rate variability in connection with the functional state of the central nervous system by the indicators of the reaction to a moving object (RMO) in e-athletes.*

Methods. The study involved 41 male respondents aged 17–25 years, among whom 14 were e-athletes (3–10 years of e-sports experience), 13 IT specialists (0–15 years of video game experience), and 14 untrained individuals who do not play computer games (control group). Heart rate variability (HRV) was determined using the Cardio+ automated diagnostic complex (METEKOL, Ukraine) with the option of recording 100 cardio intervals, analysis according to Baevsky. The diagnostic complex "Diagnost-1" (Ukraine) was used to determine the state of psychophysiological functions, assessment of RMO. Statistical processing of the obtained results was carried out using the IBM SPSS Statistics program, version 26.

Results. According to a number of indicators of RMO accuracy for both hands when performing the best attempt, e-athletes were more accurate ($p < 0,05$) than IT specialists and untrained individuals who do not play computer games. Compared to the control group, e-athletes demonstrated higher accuracy in RMO by the number of accurate hits and the number of overtaking reactions in the best attempt for DH and SDH, by the total and average deviation for DH and SDH, by the total and average lead and delay for DH, as well as by a total advance for the SDH. A higher psychophysiological status according to the accuracy of RMO in e-athletes was mainly associated with higher values of indexes of heart rate variability according to Baevsky. The presence of direct correlations between RMO deviation indicators and the Mo indicator was revealed, which indicates the activation of the sympathetic division of heart rhythm regulation. The greater accuracy of the RMO of e-athletes corresponded to the greater activity of the sympathetic division in the regulation of the heart according to the index of vegetative balance. Greater accuracy of RMO in e-athletes corresponded ($p < 0,05$) to higher values of autonomic indicator of rhythm (which characterizes the activity of the parasympathetic division and the autonomous circuit of heart regulation) and stress index of regulatory systems. Inverse correlations were found between the RMO accuracy indicators based on the results of the best attempt and the indicator of adequacy of regulatory processes. On the other hand, both direct and inverse correlations were found between the RMO accuracy indicators based on the results of three attempts and the indicator of adequacy of regulatory processes. It should be noted that, in general, statistically significant correlations between measured parameters of HRV according to Baevsky and RMO accuracy indicators were found much more when analyzing the performance of the best attempt in RMO than according to the results of three attempts (respectively, 70 and 41 correlations), which is quite natural, since a better attempt requires greater tension on the functional systems of the brain, which ensure higher performance. In the groups of e-athletes and untrained individuals, the number of correlations between RMO and HRV indicators is significantly higher than in IT specialists - 130, 155 and 22, respectively. The distribution of correlations between RMO and HRV indicators when performing tasks with the right and left hands is as follows: for e-athletes 108 versus 22, for untrained persons – 84 versus 71, for IT specialists – 17 versus 5. Asymmetry of connections in the group was revealed of e-athletes indicates the dominance of the left hemisphere in the regulation of heart rate, regardless of which hand the task is performed.

Originality. There is no data on the study of accuracy and speed of RMO and autonomic regulation of heart rate variability in e-athletes.

Conclusion. It was found that e-athletes demonstrated higher accuracy in the reaction to a moving object (RMO) compared to IT specialists and untrained individuals who do not play computer games ($p < 0,05$). The relationship between the accuracy of RMO in the examined e-athletes and HRV indicators during the performance of the task was revealed. Greater activity of the sympathetic division in the regulation of heart function corresponded to greater accuracy of RMO of e-athletes ($p < 0,05$). In the group of e-athletes, an asymmetry in the regulation of HRV was found with the dominance of the activity of the left hemisphere, which is consistent with the notions of metacontrol of motor executive functions by the left hemisphere. The identified differences in the RMO of eSports players compared to IT specialists and untrained individuals who do not play computer games can have predictive value and be used to optimize sports improvement in eSports.

Key words: eSports; reaction to a moving object; heart rate variability.

Одержано редакцією: 8.04.2024

Прийнято до публікації: 10.05.2024

УДК 581.526.3(282.247.32):581.192

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-112-120

Ольга Борисівна Мехед

mekhedolga@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9485-9139>

Юрій Олександрович Карпенко

yuch2011@i.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1703-8473>

ПРИБЕРЕЖНО-ВОДНА РОСЛИННІСТЬ ЗАПЛАВИ РІЧКИ СНОВ ЯК КОМПОНЕНТ РЕКРЕАЦІЙНО-РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА

Анотація. На основі вивчення стану прибережно-водної рослинності заплави р. Снов, встановлено можливість використання цієї території з метою рекреації та відновлення здоров'я населення. Методи досліджень включали наступні етапи: геоботанічне вивчення та еколого-флористична класифікація за методом Браун-Бланке прибережно-водних та водних екосистем; відбір зразків рослин, проб ґрунту та води прибережно-водних та водних екосистем для хімічного аналізу на утримання важких металів; порівняльний аналіз ступеня забруднення видів рослин прибережно-водних та водних екосистем з акумуляції важких металів. Висушені проби, відібрані для визначення хімічного складу, подрібнювали ножицями, секатором або в млині, поміщали в пронумеровані пакети, конверти або мішечки та передавали до хімічної лабораторії на озоління. Озоління рослин виконували за температури 500 °С. У золі рослин визначали вміст фітотоксичних важких металів і забруднюючих речовин

Наукова новизна. Вперше визначено синтаксономічний склад прибережно-водної рослинності заплави р. Снов, висвітлено результати вивчення вмісту важких металів у її компонентах. Дана оцінка рослинних фітоценозів заплави р. Снов з точки зору використання території з метою оздоровлення та реабілітації, що є важливим для відновлення здоров'я людини.

Висновки. У створенні рекреаційно-реабілітаційного середовища заплави р. Снов провідна роль належить угрупованням, що належать до класів *Potamogetonetea* та *Phragmito – Magnocaricetea*. Вони формуються на торф'янисто-мулистих субстратах ставків і озер (*Potamogetonetea*) та замулених мілководдях, на сирих болотистих, рідше оглесних ґрунтах заплавної знижень. За площею переважають фітоценози класу *Potamogetonetea*, що створюють аспект ландшафту рекреаційного середовища.

Найбільше оздоровче значення, що визначається складом рослин із фітонцидними властивостями та видів аптечного асортименту, мають прибережно-водні фітоценози союзів *Phragmition communis*, *Glycerio-Sparganion* та *Nymphaeion albae*.

Аналіз компонентів прибережно-водної рослинності заплави р. Снов засвідчує екологічну безпечність досліджуваної території з позицій використання її для оздоровлення та реабілітації населення. У проаналізованих рослинних зразках з території досліджень не спостерігали накопичення важких металів за фоновий вміст.

Подальші дослідження варто провести у напрямку розробки наукових основ поліфункціонального використання прибережно-водних екосистем заплави р. Снов, зокрема зонування, планування та облаштування.

У подальшому доцільно проводити моніторинг вмісту важких металів у компонентах рослинних угруповань потенційних рекреаційно-оздоровчих та реабілітаційних природних територій з метою розробки методів біоремедіації, адже рослини можуть сприяти фільтрації води та накопичувати важкі метали у своїх тканинах, що покращує очищення навколишнього середовища.

Ключові слова: важкі метали, оздоровлення, прибережно-водна рослинність, реабілітаційне середовище, Чернігівське Полісся

Постановка проблеми. Умови сучасного життя часто призводять до стресу та фізичного виснаження. Території для рекреації надають можливість людям відновити

фізичне та психічне здоров'я. Зелені зони, парки, ліси та прибережні місцевості залишаються місцями для відпочинку та відновлення енергії. Основна ідея загального науково-методичного підходу раціонального використання прибережно-водних екосистем полягає в науковому обґрунтуванні і організації цілеспрямованого використання прибережних зон водоєм у відповідності з їх природними особливостями, характером і перспективами освоєння, інтенсивністю антропогенних впливів [1].

Реальністю останніх років є погіршення характеристик сучасного розвитку: скорочення тривалості життя, погіршення стану здоров'я, зниження рівня добробуту. При реалізації заходів, спрямованих на підвищення рівня здоров'я населення, не можна обмежуватися діяльністю тільки медичних закладів [2, 3]. У зв'язку з цим особливого значення набуває оздоровчо-рекреаційна галузь, більшість видів діяльності якої пов'язана із використанням природно-ресурсного потенціалу регіону, що сприяє фізичному, психологічному, духовному відновленню і розвитку людини шляхом загальнооздоровчого відпочинку, освітньо-пізнавальної діяльності, екотуризму тощо. В організації відпочинку особлива роль належить водним об'єктам.

У світлі проблем покращання стану здоров'я населення логічним є вироблення стратегії використання рекреаційного потенціалу регіонів, які раніше не спеціалізувалися на рекреаційній діяльності. Як правило, чисельні наукові розробки щодо перспектив розвитку рекреаційної діяльності держави стосуються загально визначених регіональних рекреаційних центрів. Водночас Чернігівська область має середній рекреаційний потенціал (4 місце в загальноукраїнському рейтингу регіонів), що обумовлено потужною представленістю природно-рекреаційних ресурсів [4]. Рівень забезпеченості водними ресурсами в області є одним з найвищих в Україні, переважна частина річок має довжину до 10 км, рекреаційне значення яких обумовлене нижчою забрудненістю та сприятливими властивостями прибережного-водного ландшафту [5]. Малі річки та їх заплави Чернігівського Полісся мають потенціал як рекреаційне та реабілітаційне природне середовище.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оздоровче значення прибережно-водних екосистем визначається у першу чергу фітонцидними властивостями рослинних організмів. Антибіотичні речовини водних рослин відіграють значну роль у самоочищенні водоєм.

Відомо, що деякі зелені водорості виявляють бактерицидну дію. Так, дослідженнями попередників [6] встановлено, що у присутності *Hydrodictyon reticulatum* Zagerh. спостерігається загибель синьогнійної палички. Чітко виражена антибіотична активність олієподібної речовини синьозелених водоростей – ціанофітину, який пригнічує розмноження цільових грибів, стафілококової, сінної, дизентерійної, паратифозної, черевнотифної та дифтерійної паличок [4].

Для низки вищих водних і прибережних рослин відзначена бактерицидна дія їх фітонцидів на сарцини, хромобактеріум, стрептокок, кишкову паличку. Механізм бактерицидної дії здійснюється через зменшення поглинання кисню, блокування переносу електронів у дихальному ланцюзі шляхом дії на ліпідний фактор, розташований між цитохромами В і С [7, 8]. Також фітонциди деяких прибережно-водних рослин виступають як профілактичний засіб глаукоми, стилоніхії, вортицели, нематод, змінювати характер і напрямок їхнього руху, паралізувати роботу локомоторного апарата [9].

В останні роки антропогенне забруднення навколишнього середовища важкими металами стає однією з пріоритетних загроз для живих організмів, включаючи людину, а економічний і технічний прогрес все частіше стає причиною порушення природних екосистем.

До важких металів належить більше сорока хімічних елементів таблиці Менделєєва. Серед них хром, марганець, залізо, кобальт, нікель, мідь, цинк, галій, германій, молібден, кадмій, олово, стибій, телур, вольфрам, ртуть, талій, свинець, вісмут і ін. Вони часто використовуються в промисловості і входять до складу неорганічних і органічних сполук, гербіцидів, інсектицидів і медичних препаратів.

Розвинена промисловість, розгалужені транспортні мережі, безліч житлових комплексів і збільшення транспорту на дорогах (а також збільшення кількості автозаправних комплексів) – все це фактори, що суттєво збільшують ризик зростання концентрацій важких металів в компонентах навколишнього середовища.

Як відомо, важкі метали здатні накопичуватися на різних ланках екологічних ланцюгів живлення, що значно акцентує проблему. Їх вплив може призвести до віддалених ефектів. Серед них: канцерогенний, мутагенний ефекти, а також тривалий токсичний вплив на шлунково-кишковий тракт, серцево-судинну, ендокринну, нервову, репродуктивну системи, збільшення ризику безпліддя. У зв'язку з їх накопиченням в організмі, вони з часом призводять до послаблення імунної системи, загострення хронічних захворювань. Кожен важкий метал має свої особливості впливу на організм.

У міру еволюції людства концентрація важких металів в ґрунтах з роками неухильно зростає, вони накопичуються в ґрунтовій товщі, особливо у верхніх гумусових горизонтах, що негативно впливає на їх родючість, мікробіологічну діяльність і якість вирощуваних на них рослин [10].

Багато важких металів здатні до міграції в біосфері, що призводить до їх потрапляння в сільськогосподарську продукцію, а внаслідок і в організм людини. У зв'язку з цим для ведення бізнесу, безпосередньо пов'язаного з використанням ґрунту, необхідно проведення дослідження території, вивчаючи її попереднє використання, тип ґрунтів (для визначення особливостей міграцій елементів конкретно для цієї місцевості), хімічний склад.

Водні і прибережно-водні рослини, будучи важливим компонентом водних біоценозів, мають значний середовищеутворювальний вплив, беручи активну участь у процесах перерозподілу речовин між донними відкладеннями і водою. На сучасному етапі водні екосистеми як елементи природного середовища зазнають найбільш сильного впливу з боку людини. Погіршення абіотичних умов, забруднення вод різними ксенобіотиками, потрапляння сторонніх видів призводить до деградації водних і прибережно-водних фітоценозів. Донедавна система контролю базувалася на хімічному аналізі водного середовища. Динамічність середовища і нестійкість концентрації хімічних елементів значно знижують інформативність даних. Нині при оцінці стану водних об'єктів велике значення надається аналізу вищої водної рослинності і донних відкладів.

Визначення невирішених раніше частин загальної проблеми. У доступних нам джерелах інформації не висвітлено результатів вивчення вмісту важких металів у прибережно-водній рослинності Чернігівського Полісся. Проте прибережно-водні екосистеми цього регіону особливо у сучасних критичних умовах є потенційними місцями для оздоровлення населення. Водночас рослини прибережно-водної смуги, яка є потенційним місцем рекреації населення, можуть накопичувати важкі метали з води та навколишнього середовища, зокрема, використовуючи їх як стратегію для конкуренції з іншими видами або для захисту від хижаків. Якщо рослини накопичують велику кількість важких металів, це може призвести до сильного споживання цих токсичних речовин людиною, а це є небезпечним для її здоров'я. Отже, з метою оцінки безпечності для людини прибережних зон відпочинку доцільно дослідити стан їх рослинності.

Річка Снов є правою притокою Десни. Вода з неї та її заплавної водойми здебільшого використовується для господарських потреб. У заплаві р. Снов сформувалися різні рослинні угруповання, зокрема прибережно-водні. Місцеве населення використовує біомасу прибережно-водної рослинності для годівлі свійської птиці або використовувати воду з водойми в місцях її формування для поливу. Прибережно-водні смуги є функціонуючими місцями відпочинку населення та потенційними рекреаційними зонами для реабілітації різних категорій людей.

Мета. На основі вивчення стану прибережно-водної рослинності заплави р. Снов встановити можливість використання цієї території з метою рекреації та відновлення здоров'я населення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктами досліджень є прибережно-водні екосистеми заплави річки Снов. Програма досліджень включає такі питання: геоботанічні обстеження та еколого-флористична класифікація за методом Браун-Бланке прибережно-водних та водних екосистем; відбір зразків рослин, проб ґрунту та води прибережно-водних та водних екосистем для хімічного аналізу на вміст важких металів; порівняльний аналіз ступенів забруднення видів рослин прибережно-водних та водних екосистем з акумуляції важких металів. 120 геоботанічних описів та 68 різних проб було відібрано у прибережно-водних екосистемах поблизу впадіння р. Снов в Десну (околиці с. Брусилів Чернігівського району Чернігівської області).

Висушені проби рослин, відібрані для визначення хімічного складу, подрібнювали ножицями, та поміщали в пронумеровані пакети, конверти або мішечки та передавали до хімічної лабораторії на озоління. Процес озоління рослинної сировини виконували за температури 500 °С. У золі рослин визначали вміст токсичних важких металів і забруднюючих речовин.

Необхідним етапом моніторингових досліджень прибережно-водних та водних екосистем є складання еколого-флористичної класифікації її рослинності.

За результатами геоботанічних досліджень на території заплавної екосистем гирла р. Снов був складений продромус синтаксонів водної і прибережно-водної рослинності на основі принципів і методів еколого-флористичної класифікації Браун-Бланке.

Клас *Lemnetea* R. Tx 1955

Порядок *Lemnetalia minoris* R. Tx 1955

Союз *Lemnion minoris* R. Tx. ex de Bolos et Masclans 1955

Ас. *Lemnetum minoris* Soó 1927

Ас. *Lemno-Spirodeletum polyrhizae* W. Koch 1954 em. Müll. et Görs. 1960

Ас. *Lemnetum gibbae* Miyaw. et Tx. 1960

Союз *Lemnion trisulcae* den Hartog et Segal 1964

Ас. *Lemnetum trisulcae* Kelh. Ex Knapp et Stoffers 1962

Порядок *Hydrocharietalia* Rübel 1933

Союз *Lemno minoris-Hydrocharion morsus-ranae* Rübel 1933

Ас. *Lemno-Hydrocharietum morsus-ranae* Oberd. 1957

Ас. *Ceratophylletum demersi* (Soó 1928) Eggler 1933

Союз *Hydrocharion* Rübel 1933

Ас. *Stratiotetum aloidis* (Nowiński 1930) Miljan 1933

Клас *Potamogetonetea* Klika in Klika et Novak 1941

Порядок *Potamogetonetalia* W. Koch 1926

Союз *Potamogetonion pectinati* W. Koch 1926 em. Oberd. 1957

Ас. *Potamogetonetum pectinati* Carston 1955

Ас. *Potamogetonetum perfoliati* (Koch. 1926) Passarge 1964

Ас. *Potamogetonetum natantis* Soó 1927

Ас. *Potamogetonetum lucentis* Huek 1931

Ас. *Potameto perfoliati-Ranunculetum circinati* Sauer 1937

Ас. *Potamogetonetum nodosi* (Soó 1960) Segal 1964

Ас. *Polygonetum natantis* Soó 1927

Ас. *Elodeetum canadensis* Egler 1933

Союз *Nymphaeion albae* Oberd. 1957

Ас. *Potameto natantis-Nymphaeetum candidae* Hejný in Dykyjva et Kvet 1978

Ас. *Potameto natantis-Nupharetum luteae* Müller et Görs 1960

Ас. *Nymphaeo-Nupharetum luteae* Nowiński 1928

Ас. *Trapetum natantis* (Karpati 1963) Th. Müller et Görs 1960

Клас *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941

- Порядок *Phragmitietalia* Koch 1926
 Союз *Phragmition communis* Koch 1926
 Ас. *Phragmitetum communis* (Gams 1927) Schmale 1939
 Ас. *Acoretum calamii* Knapp et Stoff. 1962
 Ас. *Glycerietum maximae* Hueck 1931
 Ас. *Equisetetum fluviatilis* Steffen 1931
 Ас. *Scirpetum lacustris* (Allorge 1922) Chourd 1924
 Ас. *Sparganietum erecti* Roll 1938
 Ас. *Thyphetum latifoliae* (Soó 1927) Long 1973
 Ас. *Thyphetum angustifoliae* (Allorge 1921) Pignatti 1953
 Ас. *Butometum umbellati* (Konczak 1968) Philippi 1973
 Ас. *Eleocharitetum palustris* Shennikov 1919
 Ас. *Scolochloetum festucaceae* Rejewski 1977
 Порядок *Nasturtio–Glycerietalia* Pignatti 1953
 Союз *Sparganio–Glycerion fluitantis* Br.–Bl. et Siss. in Boer 1942
 Ас. *Glycerietum fluitantis* Gams 1927
 Порядок *Oenanthetalia aquaticaе* Hejný in Kopecky et Hejny 1965
 Союз *Oenanthion aquaticaе* Hejný 1948 ex Neuhäsl 1959
 Ас. *Oenantho aquaticaе–Rorippetum amphibiae* Lohm. 1950
 Ас. *Sagittario–Sparganietum emersi* Tx. 1953
 Порядок *Magnocaricetalia* Pignatti 1953
 Союз *Magnocaricion elatae* Koch 1926
 Ас. *Caricetum gracilis* Almquist 1929
 Ас. *Caricetum rostratae* (Rübel 1922) (Dagys 1932) Bal.–Tul. 1963
 Ас. *Caricetum vesicariae* Br.–Bl. et Denis 1926
 Ас. *Phalaridetum arundinaceae* Koch ex Libb. 1931

Фітоценози водної та прибережно-водної рослинності заплавної екосистем заплави р. Снов, що створюють рекреаційно-оздоровче середовище, належать до 3 класів (*Lemnetea* R. Tx 1955, *Phragmito - Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941, *Potamogetonetea* Klika in Klika et Novak 1941), 6 порядків, 10 союзів і 37 асоціацій. Вказані фітоценози поширені уздовж русла р. Снов та у її заплаві – ставках і озерах, замулених мілководдях, на сирих болотистих, оглеєних, суглинистих, лучно-болотних, торф'янисто-мулистих та торф'янистих ґрунтах. За площею переважають фітоценози класів *Potamogetonetea* та *Phragmito - Magnocaricetea* що формують аспект ландшафту рекреаційного призначення.

У 24 видів судинних рослин прибережно-водних екосистем заплави р. Снов виявлені леткі фракції фітонцидів з різною потужністю. Так, леткі фітонциди таких рослин як *Menyanthes trifoliata* L., *Bidens tripartita* L., *Iris pseudacorus* L. викликали загибель інфузорій при 10–60-хвилинній експозиції, а леткі речовини водоростей, *Glyceria maxima* (C.Hartm.) Holub., *Elodea canadensis* Michx. й інших рослин – лише протягом багатьох годин. Нелеткі фракції *Persicaria amphibia* (L.) Delarbre і *Lysimachia nummularia* L. вбивають збудників глаукоми протягом перших хвилин, а *Equisetum palustre* L. – через 28 – 90 хвилин [5].

Значну чутливість до фітонцидів, які є у складі *Glyceria maxima*, виявили такі групи зообіоти як гідри, ракоподібні, паукоподібні, комахи, птахи і ссавці. Стійкішими до речовин виявились риби, амфібії, рептилії [5]. Не випадково водойми, де трапляються угруповання *Glycerietum maximae* Hueck 1931 (*Cicuto-Glycerietum maximae* (Hueck 1931) Succow ex Smittenberg 1972) мають збіднілий склад біорізноманіття таких груп як гідри, дафнії, циклопи, комарі та їх личинки і лялечки.

Різні частини рослин-макрофтів можуть мати різний кількісний і якісний склад фітонцидів. Розтерте кореневище *Acorus calamus* L. виділяє леткі речовини більш енергійної фітонцидної дії, ніж розтерті стебло та листок. У *Glyceria maxima*, навпаки, наземні частини

у фітонцидному відношенні активніші, ніж підземні. Досліди свідчать, що вміст фітонцидів у лепешняку з різних водойм, значно коливається. До того, різні екземпляри, узяті з тієї самої водойми, виявляють різні фітонцидні властивості. *Equisetum palustre*, *Nymphaeae alba* L., *Nuphar lutea* (L.) Smith, *Sagittaria sagittifolia* L., *Calla palustris* L., *Bidens tripartita* L., *Juncus bufonius* L., *Persicaria amphibia* зберігають характерні для них фітонцидні властивості незалежно від географічної області їхнього зростання. Близькі види рослин, що належать до одного роду, у більшості випадків характеризуються подібними фітонцидними властивостями (*Bidens cernua* L., *B. frondosa* L., *B. tripartita* L.).

Прибережно-водні фітоценози заплави р. Снов є місцезростаннями низки рослин аптечного асортименту, зокрема *Menyanthes trifoliata*, *Bidens tripartita*, *B. cernua*, *Valeriana officinalis* L., *Persicaria bistorta*, *Lysimachia nummularia* тощо.

Аналіз вмісту важких металів рослинних зразках об'єктів прибережно-водних фітоценозів поблизу гирла р. Снов показав, що у досліджених зразках не було перевищення фонового вмісту цинку. Також не було відзначено перевищення фонового змісту по свинцю та кадмію. У некоріненого гідрофіту *Elodea canadensis* Michx. спостерігалось перевищення фонового вмісту по міді у 1,32 рази, а еугідрофіта *Bidens tripartita* – у 1,25 рази, у аерогідрофіта *Alisma plantago-aquatica* – в 1,09 рази, у гідрофіта *Phalaris arundinacea* L. – у 1,1 рази.

Найбільший вміст цинку був у місці відбору за межами рекреаційної зони: *Elodea canadensis* – у 3,1 рази, *Lemna minor* L. – у 5,3 рази (рис. 1). У еугідрофіта *Bidens tripartita* також за межами рекреаційної зони поблизу житлової забудови відзначався високий вміст міді, цинку, свинцю по відношенню до інших рослин цієї екологічної групи. Аналіз серед еугідрофітів показав вміст міді у межах ГДК та приблизно однакової величини, за винятком *Bidens tripartita*.

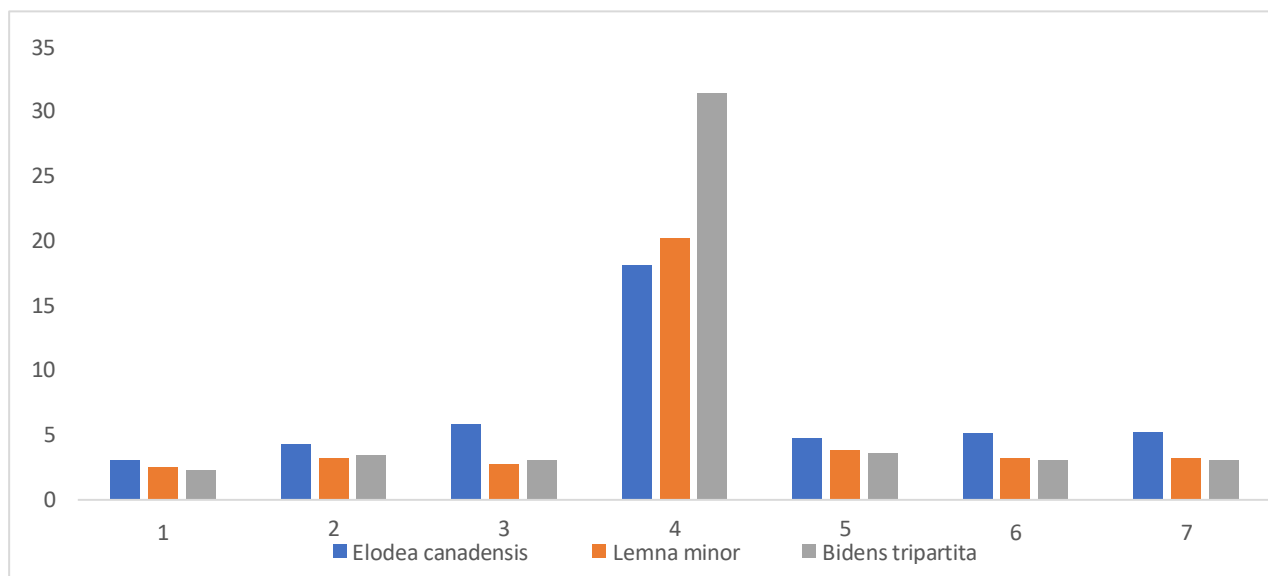


Рис. 1. Вміст цинку у зразках *Elodea canadensis* Michx., *Lemna minor* L. та *Bidens tripartita* L., мг/кг

Аналіз коефіцієнту накопичення (КН) міді виявив, що найбільший КН відзначений у еугідрофітів з повітряними генеративними органами, що укорінюються у *Elodea canadensis*, плейстогідрофітів, некорінних вільно плаваючих – *Lemna minor* та *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid. Плейстогідрофіт *Nuphar lutea* (L.) Sm. має найменший КН. Найбільший КН по цинку, як і у міді, відзначений у еугідрофітів з повітряними генеративними органами, а також плейстогідрофітів та плейстогідрофітів некорінених. Проте, не зважаючи на високий КН, вміст цих важких металів був у межах норми.

У всіх проаналізованих рослинних зразках не спостерігалось накопичення міді, свиню і кадмію вище фонового вмісту. За виключенням трьох видів рослин місця об'єкту 4 (поза рекреаційною територією) рослинні зразки містили цинк вище фону. У всіх рослинних зразках встановлено накопичення марганцю значно нижче за фоновий вміст. Тільки у одному зразку *Spirodela polyrhiza* накопичення кобальту перевищувало фонове на 1,3%. Вміст хрому у жодному зразку не перевищував фоновий.

Практичне здійснення конструктивного підходу щодо використання прибережно-водних екосистем р. Снов з метою оздоровлення населення повинно бути спрямоване на вивчення структурної організації об'єкту (зонування), уявлення про найбільш оптимальну просторову і функціональну структуру (планування), аргументований вплив на об'єкт (облаштування). З таким підходом за критичних умов створюється можливість впровадження концепції стійкості екосистем у спрощеному вигляді можна проілюструвати за такою схемою: вивчення території → екотуризм → реабілітація та відновлення здоров'я людини + охорона прибережно-водних територій → стійкий розвиток. Це сприятиме формуванню саморегулюючої системи, яка має значне оздоровче та реабілітаційне значення, виступаючи моделлю стійких стосунків людини і природи. При цьому основною мотивацією всіх природно-орієнтованих форм оздоровлення є спостереження, сприйняття цінностей природи і позитивний емоційний вплив у кризових і складних життєвих ситуаціях.

Висновки та перспективи подальших розвідок.

У створенні рекреаційно-реабілітаційного середовища заплави р. Снов провідна роль належить угрупованням, що належать до класів *Potamogetonetea* та *Phragmito – Magnocaricetea*. Вони формуються на торф'янисто-мулистих субстратах ставків і озер (*Potamogetonetea*) та замулених мілководдях. на сирих болотистих, рідше оглеєних ґрунтах заплавної знижень. За площею переважають фітоценози класу *Potamogetonetea*, що створюють аспект ландшафту рекреаційного середовища.

Найбільше оздоровче значення, що визначається складом рослин із фітонцидними властивостями та видів аптечного асортименту, мають прибережно-водні фітоценози союзів *Phragmition communis*, *Glycerio-Sparganion* та *Nymphaeion albae*.

Аналіз компонентів прибережно-водної рослинності заплави р. Снов засвідчує екологічну безпечність досліджуваної території з позицій використання її для оздоровлення та реабілітації населення. У функціонуючих та потенційних місцях рекреації у проаналізованих рослинних зразках не спостерігалось накопичення важких металів більшим за фонові показники.

Подальші дослідження доцільно провести у напрямку розробки наукових основ поліфункціонального використання прибережно-водних екосистем заплави р. Снов, зокрема зонування, планування та облаштування.

У подальшому варто проводити моніторинг вмісту важких металів у фітокомпонентах рослинних угруповань потенційних рекреаційно-оздоровчих та реабілітаційних природних територій для розробки методів біоремедіації, адже судинні рослини можуть сприяти фільтрації води та накопичувати важкі метали у своїх тканинах, що сприяє очищенню навколишнього середовища.

Список використаної літератури

1. Лукаш А.В., Лобань Л.О., Кирієнко С.В., Лукаш І.М. Оздоровче значення прибережно-водних екосистем Чернігівської області у аспекті організації рекреації та навчальної діяльності студентів Вісник Черніг. нац. пед. ун-ту. ім. Т.Г. Шевченка [Сер. Педаг. науки. Фізичне вихов. та спорт].2012. № 98, Т. 3. С. 180–183.
2. Мехед О. Б. Формування здорового способу життя як важлива частина виховання та соціалізації підростаючого покоління. Вісник Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка. Вип. 4 (160) : НУЧК, 2019. С. 84-88 с.

3. Griban, G., Myroshnychenko, M., Tkachenko, P., Krasnov, V., Karpiuk, R., Mekhed, O., Shyyan, V. Psychological and pedagogical determinants of the students' healthy lifestyle formation by means of health and fitness activities. *Wiadomości Lekarskie*, 2021. 74 (5),1074-1078. doi: 10.36740/WLek202105105
4. Дайнеко Н.М., Тимофєєв С.Ф. Лукаш О.В. Накопичення металів та цезію-137 у прибережно-водній раслинності пойми р. Дніпро Брагинського району Гомельської області. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. 2013. №2 (55). С. 43–50.
5. Дайнеко Н.М., Тимофєєв С.Ф., Лукаш А.В., Карпенко Ю.А. Оцінка стану лучних екосистем пойми р. Дніпро прикордонних територій Гомельської і Чернігівської областей. Чернігів: Лозовий В.М., 2014.
6. Мамайчук М.И. Антибактеріальна активність ціанофітину – речовини із синьо-зелених водоростей. Фітонциди в медицині, сільському господарстві, харчовій промисловості. Київ : Вид-во АН УРСР. С. 120.
7. Регіони України: статистичний збірник. Київ : Держ. ком. статистики України, 2009. 759 с.
8. Суботіна А.С., Титова А. В. Вплив деяких водних організмів на виживаність мікробів. Фітонциди в медицині, сільському господарстві, харчовій промисловості. Київ : Вид-во АН УРСР. С. 122.
9. Фітонциди водних и прибрежних рослин. Дослідження Ф.О. Гуревича и В.П. Тульчинської: <http://portaleco.ru/ekologii-vysshih-vodnyh-rastenij>
10. Чернігівщина в цифрах у 2009 році: статистичний збірник / За ред. Д.І. Ашихміної –Чернігів: Держ. ком. статистики України. Гол. управл. статистики у Чернігівськ. обл., 2010. 188 с.

References

1. Lukash A.V., Loban L.O., Kyriienko S.V., Lukash I.M. (2012). Ozdorovche znachennia pryberezhno-vodnykh ekosystem Chernihivskoi oblasti u aspekti orhanizatsii rekreatsii ta navchalnoi diialnosti studentiv Visnyk Chernihivskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni T.H. Shevchenka [Bulletin of the Chernihiv National Pedagogical University named after T.G. Shevchenko.]. 98, T. 3. S. 180–183. (in Ukrainian)
2. Mekhed, O. B. (2020). Formuvannia zdorovoho sposobu zhyttia yak vazhlyva chastyna vykhovannia ta sotsializatsii pidrostaiuchoho pokolinnia [Formation of a healthy lifestyle as an important part of education and socialization of the younger generation] : Chernihiv, Ukraine: NUChK. 2020. 84-88 (in Ukrainian)
3. Griban, G., Myroshnychenko, M., Tkachenko, P., Krasnov, V., Karpiuk, R., Mekhed, O., Shyyan, V. (2021). Psychological and pedagogical determinants of the students' healthy lifestyle formation by means of health and fitness activities. *Wiadomości Lekarskie*, 74 (5),1074-1078. doi: 10.36740/WLek202105105 (in English)
4. Daineko N.M., Tymofieiev S.F. Lukash O.V. (2013). Nakopychennia metaliv ta tseziuu-137 u pryberezhno-vodnii raslynnosti poimy r. Dnipro Brahynskoho raionu Homelskoi oblasti. Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka [Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatiuk]. 2 (55). 43–50. (in Ukrainian)
5. Daineko N.M., Tymofieiev S.F., Lukash A.V., Karpenko Yu.A. (2014). Otsinka stanu luchnykh ekosystem poimy r. Dnipro prykordonnykh terytorii Homelskoi y Chernihivskoi oblasti. Chernihiv: Lozovyi V.M. (in Ukrainian)
6. Mamaichuk M.Y. (1997). Antybakterialna aktyvnist tsianofitynu – rehovyny iz syno-zelenykh vodorostei. Fitontsydy v medytsyni, silskomu hospodarstvi, kharchovii promyslovosti. Kyiv : Vyd-vo AN URSSR. S. 120. (in Ukrainian)
7. Rehiony Ukrainy: statystychni zbirnyk (2019). Kyiv : Derzh. kom. statystyky Ukrainy. 759 s. (in Ukrainian)
8. Subotina A.S., Tytova A. V.(2018). Vplyv deiakykh vodnykh orhanizmiv na vyzhyvanist mikrobyv. Fitontsydy v medytsyni, silskomu hospodarstvi, kharchovii promyslovosti. Kyiv : Vyd-vo AN URSSR. S. 122. (in Ukrainian)
9. Fitontsydy vodnykh y prybrezhnykh roslyn. Doslidzhennia F.O. Hurevycha y V.P. Tulchynskoi: <http://portaleco.ru/ekologii-vysshih-vodnyh-rastenij> (in Ukrainian)

10. Chernihivshchyna v tsyfrakh u 2009 rotsi: statystychnyi zbirnyk (2010) / Za red. D.I. Ashykhminoi – Chernihiv: Derzh. kom. statystyky Ukrainy. Hol. upravl. statystyky u Chernihivsk. obl. 188 s. (in Ukrainian)

Mekhed O. B., Karpenko Y. O.. ASSESSMENT OF THE STATE OF COASTAL-AQUATIC VEGETATION OF THE FLOODWATER OF THE SNOV RIVER AS A RECREATION ENVIRONMENT

Abstract. *In light of the problems of improving the health of the population, it is logical to develop a strategy for using the recreational potential of regions that previously did not specialize in recreational activities. In recent years, anthropogenic pollution of the environment with heavy metals has become one of the priority threats to living organisms, including humans, and economic and technical progress is increasingly becoming the cause of disruption of natural ecosystems. Heavy metals can accumulate at all levels of the ecological pyramid, which greatly exacerbates the problem. Their influence can lead to distant effects. Among them: carcinogenic, mutagenic effects, as well as long-term toxic effects on the gastrointestinal tract, cardiovascular, endocrine, nervous, and reproductive systems, increasing the risk of infertility. Due to their accumulation in the body, they eventually lead to a weakening of the immune system and exacerbation of chronic diseases. Each heavy metal has its own specific effects on the body.*

Goal. *To determine the safety of using the floodplain of the Snov River for the purpose of rehabilitation and restoration of the population.*

Research methods included the following issues: geobotanical study and ecological-floristic classification of coastal-aquatic and aquatic ecosystems according to the Brown-Blancke method; selection of plant samples, soil and water samples of coastal and aquatic ecosystems for chemical analysis for the content of heavy metals; comparative analysis of the degree of pollution of plant species of coastal and aquatic ecosystems due to the accumulation of heavy metals. Dried samples, selected for determination of chemical composition, were crushed with scissors, secateurs or in a mill, placed in numbered bags, envelopes or bags and sent to the chemical laboratory for ashing. Ashing of plants was carried out at a temperature of 500 °C. The content of phytotoxic heavy metals and pollutants was determined in plant ash

Scientific novelty. *For the first time, the results of the study of the content of heavy metals in the coastal water vegetation of the Snov River from the point of view of the use of the territory for the purpose of health improvement, which is the task of preserving and restoring human health, are highlighted. At the same time, plants in the riparian zone can accumulate heavy metals from water and the environment, in particular, using them as a strategy to compete with other species or to defend against predators*

Conclusions. *It has been established that 24 types of vascular plants with phytoncidal properties occur in the flora of coastal water ecosystems of Chernihiv Oblast. Taxonomically close species show the same phytoncide activity. Coastal aquatic cenoses of Phragmites communis W. Koch 1926, Glycerio-Sparganium Br.-Bl. associations have the greatest health-improving value, determined by the composition of plants with phytoncide properties and types of pharmacy assortment, in recreational reservoirs. et Sissingh in Boer 1942 and Nymphaeion albae Oberdorfer 1957. The practical implementation of a constructive approach to coastal-water ecosystems should be aimed at learning about the structural organization of the object (zoning), an idea of the most optimal spatial and functional structure (planning), a reasoned impact on the object (arrangement). The implementation of the concept of sustainability of hydrological nature-reserved areas can be illustrated in a simplified form by the scheme: study of the territory → ecotourism → financial return → nature protection → sustainable development → study of nature. Thus, a closed self-regulating system is formed, which is of great health importance and is a model of sustainable relations between man and nature. At the same time, the main motivation of all nature-oriented forms of ecotourism is observation, perception of the values of nature and a strong emotional impact. In addition, the study of the content of heavy metals occurs in the development of bioremediation methods, when plants are used to clean polluted waters from toxic metals. Plants can help filter water and accumulate heavy metals in their tissues, which improves environmental cleaning.*

Key words: *heavy metals, health improvement, coastal and aquatic vegetation, recreation, Chernihiv Polissia.*

Одержано редакцією: 29.02.2024

Прийнято до публікації: 27.03.2024

УДК 637.146:634.745

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-121-130

Марія Миколаївна МихайленкоНаціональний університет біоресурсів і природокористування України
masha.mikhaylenko.2002@gmail.com**Наталія Георгіївна Нестерова**Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8366-2621>
natalianesterova@nubip.edu.ua**Світлана Петрівна Лікар**Український інститут експертизи сортів рослин
koriza@ukr.net

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИН РОДУ *VIBURNUM* ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЯКОСТЕЙ КИСЛОМОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

У статті узагальнено інформацію щодо цінності та функціональних властивостей кисломолочних продуктів, у першу чергу – йогуртів, до складу яких додають різноманітні рослинні наповнювачі, з метою надання продукту лікувально-профілактичної дії. Обґрунтовано перспективність використання рослин роду *Viburnum* в кисломолочних виробництвах.

Проведено комплексний аналіз впливу наповнювача «калина» на органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники йогурту кисломолочного. Встановлено, що додавання екстракту калини безпосередньо впливає на якість йогурту, зокрема на його смакові та органолептичні характеристики. Варто відзначити, що усі досліджені зразки відповідали основним нормам щодо безпечності харчової продукції в Україні. Показано, що наповнювач «калина» не виявляє негативного впливу на фізико-хімічні та мікробіологічні показники біфідойогурта і може використовуватися у якості смакового компонента на рівні із загальноприйнятими в Україні ароматизаторами. Отже, плоди калини є перспективним наповнювачем для українського ринку, володіють лікувально-профілактичною дією на організм людини та є відносно дешевою сировиною для виробництва на території нашої країни.

Ключові слова: *Viburnum*, функціонально-значимі харчові продукти, кисломолочні продукти, йогурти, харчова промисловість, контроль якості.

Постановка проблеми, аналіз останніх публікацій. В умовах сьогодення, існуючі проблеми здорового харчування свідчать щодо необхідності пошуку нових або вдосконалення вже існуючих циклів виробництва біологічно-цінних та значимих харчових продуктів. Для покращення поживної цінності та функціональних властивостей кисломолочних продуктів, їх склад комплексують різноманітними наповнювачами, які володіють лікувально-профілактичною дією та є джерелом цінних вітамінів та амінокислот.

Дерево калини з давніх часів є народним символом України, бо ще за часів Київської Русі її вважали знаком відродження життя та його безперервності. Назва рослини "калина" пов'язана із назвою сонця – Коло, бо її ягоди і кісточка такі ж круглі, як найближча зірка до нашої планети [1]. У калині унікальним чином об'єднані корисність і краса, оскільки немає такої хвороби, яку б не допомогла вилікувати калина чи продукція виготовлена на її основі [2].

На території України поширені два основні види цих рослин: калина звичайна (*Viburnum opulus*) і калина гордовина цілолиста (*Viburnum lantana*). *V. opulus* є типовим лісовим кущем, що широко розповсюджений майже на усій території країни: у гірських Карпатах і Лісостеповій зоні – це звична частина флори; у зоні Полісся культура зустрічається рідше, але все ж зберігає форму місцевого виду, а у зоні Степу та Сухого Степу зустрічається лише по заплавах річкових долин і вологих ярах. Наймасивніші гушавини

калини зростають переважно на території Київської, Чернігівської, Львівської, Івано-Франківської, Тернопільської та Закарпатської областей. Рід *Viburnum* – типовий представник, що зростає у найрізноманітніших за видовим складом лісах – чистих і мішаних, листяних і хвойних, а також гущах кущів і в заплавах травах. Представники роду *Viburnum* виконують важливу роль у складі підліску широколистяних і дрібнолистяних лісів, річкових долин та інших низинах рельєфу, проте ніколи не ростуть у великих скупченнях та не займають домінуючої ролі у насадженнях [9].

Сировина *V. opulus* (кора, квіти, плоди) запасється переважно в лісах, що на сьогодні є основним джерелом забезпечення потреб попиту на плоди та суцвіття. У процесі заготівлі сировини з дикорослих форм *V. opulus* необхідно звертати увагу на якісне задоволення потреб споживачів, спрямовувати увагу та зусилля працівників лісової та суміжних галузей на відновлення і збільшення запасів сировини дикорослих форм *V. opulus* та включення представників цього роду до складу міських насаджень.

Склад та харчова цінність плодів *V. opulus* визначається спектром біологічно-активних речовин, які переважно визначаються її місцезростанням [3]. У плодах *V. opulus* середня кількість цукрів коливається від 6,1 до 15,5 %. Головними моносахаридами є глюкоза та фруктоза, які повністю засвоюються організмом людини. Кількість фруктози варіюється від 3,2 до 4,9 %, сахарози – 0,1 до 1,7 %, олігосахариди – до 3 %, а галактоза виявлена у незначних кількостях [4]. Плоди *V. opulus* містять поліюли, такі як маніт, сорбіт та інозит. Окрім того, ці плоди багаті на пектинові речовини, що є вкрай необхідними для організму людини, оскільки вони проявляють детоксикаційні властивості й здатні зв'язувати та виводити важкі метали (Pb, Ni тощо), радіоактивні елементи (Sr, Co, Cs) з організму людини. Сумарна кількість таких речовин залежить від місцезростання рослин і може коливатися від 0,5 до 7,0 % у *V. opulus* та до 5 % у *V. lantana* [5]. У зрілих плодах *V. opulus* містяться різні органічні кислоти, такі як щавлева, яблучна, бурштинова, мурашина, лимонна, каприлова, валеріанова, ізовалеріанова, хлорогенова тощо, а також сліди оксикоричних кислот, таких як хінна, кавова та оцтова. Такі кислоти, забезпечуючи певний рівень рН, сприяють пригніченню росту плісняви і шкочинних мікроорганізмів. Водночас, наявність органічних кислот надає плодам характерного смаку, що може виявляти кислуватий присмак продукту, а також прискорює процес засвоєння організмом. Кислотність зрілих плодів *V. opulus* в середньому становить від 1,1 до 2,4 % [6].

Амінокислотний склад плодів *V. opulus* складається із 13 вільних амінокислот, серед них переважають серин, глутамінова кислота та аланін у кількостях 14,9 мг/100г, 21,8 мг/100г та 37,2 мг/100г відповідно. Інші 10 амінокислот (аргінін, валін, аспарагінова кислота, гістидин, гліцин, лейцин, ізoleyцин, лізин, пролін та треонін) містяться у плодах у значно менших кількостях: від 2,6 до 8,5 мг/100г [7]. У плодovому м'якуші *V. opulus* також виявлено вітамін Е (до 2 мг%), В₉ (фолієва кислота) – 0,003 мг% та К₁ (0,12-0,44 мг/100 г) [8]. Плоди *V. opulus* також багаті на макро- (Ca, K та Mg) і мікроелементи (Cu, P, Fe, Mn, Zn, I, Co та ін.), що є невід'ємною складовою оптимального розвитку організму (Рис. 1) [2]. Багатий біохімічний склад плодів та листків *V. opulus* підтверджує виняткову плодovу цінність і доцільність їх використання при виробництві продуктів здорового харчування та формуванні свідомої нутриціології.

Молочна галузь є однією з провідних у структурі харчової промисловості України. Перспективи її розвитку та функціонування є надзвичайно актуальними, оскільки молочні продукти є цінними незамінними елементами харчування людини. Завдяки своїм корисним властивостям, вони можуть використовуватися як функціонально-профілактичні препарати, які допомагають підтримувати оптимальний рівень імунітету, підвищують витривалість організму та стійкість до хвороб різної етіології, а також сприяють збереженню енергії та підтримці життєвого тону. Харчові наповнювачі різної природи можуть надавати продукції додаткових функціональних властивостей. Зазвичай у якості наповнювачів

використовують плоди та ягоди – джерела глюкози і фруктози, мінеральних речовин, вітамінів, фенольних сполук, харчової клітковини, а для надання кисломолочним напоям особливого виразного смаку і аромату, привабливий зовнішній вигляд, застосовують плодово-ягідні наповнювачі у формі сиропів, концентратів або сухих сумішей.

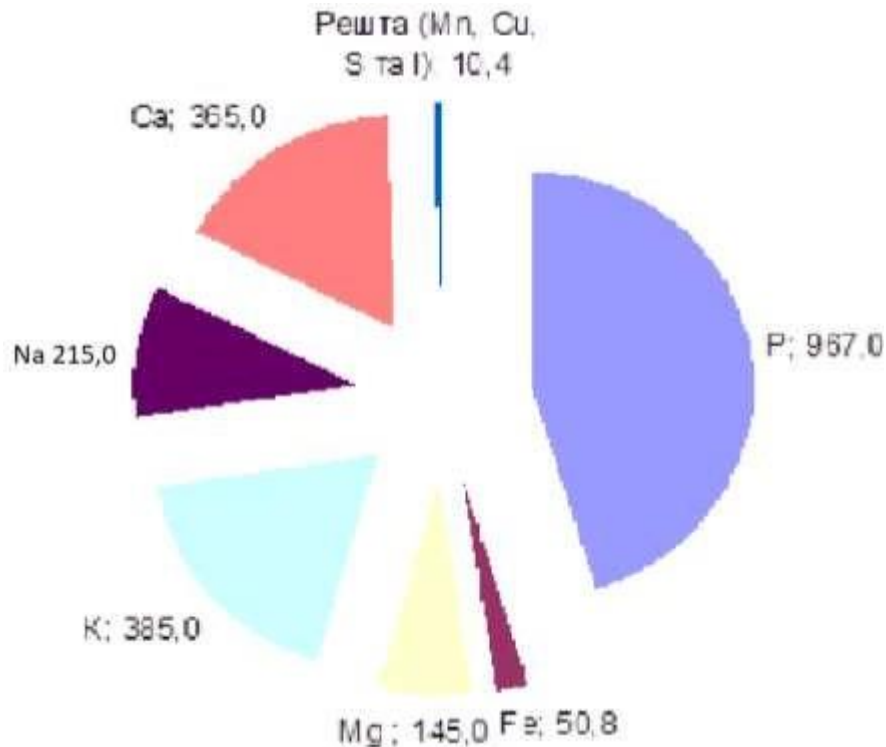


Рис. 1. Якісний склад мінеральних елементів плодів *V. opulus*, мг/кг

За останні 10 років стрімкого розвитку набув напрямок створення лікувально-профілактичних засобів та комплексів із натуральної рослинної сировини. Незважаючи на таке різноманіття, яке вже дозволене до використання у нашій державі, на практиці впроваджуються лише звичні та доступні багато років продукти. Така недосконалість харчового ринку пояснюється фрагментарністю інформації щодо харчової та біологічної цінності рослин, умовами їхнього зростання, зберігання та переробки, а також складністю технологій впровадження у виробництво. Отже, **метою роботи** було дослідження перспектив використання рослин роду *Viburnum* як дієвого компонента для покращення якості та корисних властивостей кисломолочних продуктів на ринку України.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктами досліджень на різних етапах експерименту слугували зразки йогуртів ТМ «Активія»: Біфідойогурт Активія питний «Червона калина-злаки» та Біфідойогурт Активія без цукру, жирністю 1,5 %. Визначалися органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники якості та безпечності йогурту з наповнювачем «Червона калина-злаки» порівняно з йогуртом без фруктово-ягідних добавок.

Нами проведено аналіз представлених брендів молочної продукції у магазинах міста Черкаси для характеристики специфіки наповнення ринку та підбору попиту споживачів. Дане дослідження включало огляд асортименту, його варіативність та популярність брендів на ринку України. У якості об'єктів було відібрано найпоширеніші торгові марки, що зареєстровані в Україні: Активія, Молокія, Галичина, Своя лінія, Злагода, Дольче, Марійка, Яготинське, Чудо, Лактонія, Агуня, Lactel, Muller, Ферма, Растішка та Волошкове поле (рис. 2).

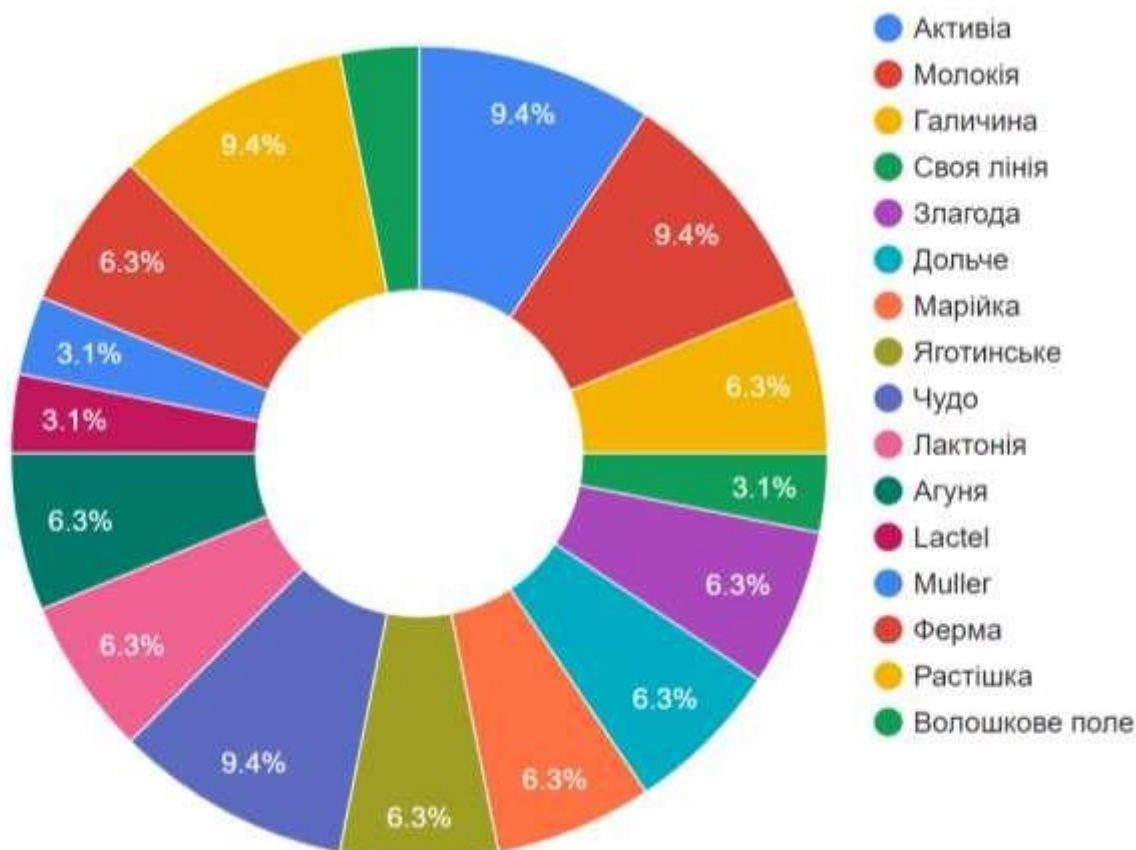


Рис. 2 Поширеність основних торгових марок кисломолочної продукції на ринку України

Органолептичні показники визначались наступній послідовності: запах, смак, консистенція та колір. Дані показники повинні відповідати вимогам ДСТУ 4343:2004 – смак і запах біфідойогурту з наповнювачем досить солодкий, з присмаком відповідного доданого ароматизатора. Поверхню йогурту оглядали не перемішаною, оскільки потрібно було визначити однорідність продукту. Консистенція оцінювалася за стандартними методиками фізично у ротовій порожнині, а колір – у скляній тарі на білому фоні. За консистенцією фіксували форму біфідойогурту кремоподібну з частинками добавок та наповнювачів, які розподілені за всією площею йогурту, а також відповідність кольору продукту забарвленню наповнювача.

Визначення вмісту жирів у продукті проводили методом Сокслета [10] відповідно до інструкції аналізатора Soxtec 8000. Для цього в колбу на 250 мл зважували 10 г йогурту, додавали 50 мл 4 М соляної кислоти закривали колби краплевловлювачами і ставили на підставки з піском на електронну плитку на 1 годину від моменту закипання. Потім промивали дистильованою водою в паперовій гільзі до слабкокислого рН. і ставили в сушильну шафу на 8 год при 60 °С. Підготовлені стакани з 80 мл петролейного ефіру для екстракції розміщували разом з гідрокапами в аналізатор Soxtec 8000. Після закінчення етапу сушили у шафі при 103 °С до стабільної маси. Після охолодження стакани зважували і отримані значення підставляли у формули для розрахунку.

Визначення білка за кількістю азоту проводили по ДСТУ ISO 8968-1:2005 (IDF 20-1:2001) [11]. У колбу К'ельдаля зважували 2 г йогурту, додавали дві таблетки каталізатора та 12 см³ концентрованої сірчаної кислоти. Штатив з колбами ставили на дегістор за температури 420 °С на одну годину. В охолоджену пробу заливали 80 см³ дистильованої води і розміщали в напівавтоматичний *дистиляційний блок* для аналізу за методом К'ельдаля, обирали програму з додаванням 70 см³ гідроксиду натрію і 30 см³ розчину борної

кислоти. Отриманий дистилат титрували 0,1 Н соляною кислотою до зміни кольору з зеленого на сірий з відтінком рожевого. Розраховували вміст азоту в дослідній пробі, а потім перераховували результат на вміст загального білка.

Мікробіологічні дослідження включали виявлення стафілокока, сальмонел, бактерій групи кишкової палички та дріжджів і пліснявих грибів. Виявлення стафілокока *Staphylococcus aureus* проводили згідно з ГОСТ 30347-97 Молоко і молочні продукти [12]. Для цього наважку йогурту або/та його розведення засівали по 1 см³ в пробірки або чашки з сольовим бульйоном. Пробірки з посівами інкубували в термостаті 37±1 °С протягом 24 год. Для розпізнавання термостатованих посівів, *Staphylococcus aureus* пересівали на чашки Петрі з середовищем Байрд-Паркера. Чашки термостатували за температури 37±1 °С протягом 24-48 год. Після термостатування посівів, чашки Петрі оглядали і відзначали ріст характерних колоній.

Виявлення сальмонел проводили згідно з ГОСТ 31659-2012 [13]. За стандартною методикою із приготованих розведень продукту висівали по 1 см³ у середовище Ендо. Посіви перевертали догори дном і термостатували за температури 37±1 °С протягом 24 ± 3 год. Виявляли присутність типових колоній бактерій роду *Salmonella*.

Виявлення бактерій групи кишкової палички проводили згідно з ДСТУ 7140:2009 [14]. Дослідний матеріал засівали по 1 см³ відповідного розведення в пробірки з 5 см³ середовища Кеслера та інкубували за температури 37°С 18–24 год. Якщо після термостатування газоутворення було відсутнє, то робили висновки щодо забруднення зразків бактеріями групи *Escherichia*.



Визначення дріжджів і пліснявих грибів проводили згідно з ДСТУ 8447:2015 [15]. Із підготовленої проби продукту та його розведення відбирали наважку та висівали по 1 см³ у чашки Петрі із середовищем Сабуро. Посіви термостатували догори дном при температурі (24±1) °С протягом п'яти діб. Через три доби термостатування проводили попередній підрахунок типових колоній, а через п'ять – робили висновок за результатами термостатування посівів. Колонії дріжджів та цвілевих грибів поділяли візуально та вираховували їх вміст в 1 см³ продукту.

Результати досліджень та обговорення. Для проведення досліджень використовували зразки йогуртів ТМ «Активія»: Біфідойогурт Активія питний «Червона калина-злаки» та Біфідойогурт Активія без цукру, жирністю 1,5 %. Досліджували якісні та кількісні характеристики біфідойогурту, що вказують на безпечність та потенційну користь продукції; органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники якості та безпечності йогурту з наповнювачем «калина» порівняно з йогуртом без фруктових добавок. Так, огляд показав, що у мережах продуктових магазинів м. Черкаси представлений досить широкий вибір продукції, адже виробники, мають на меті задовольнити потреби кожного споживача, оскільки різноманіття молочної продукції дозволяє їм обирати те, що відповідає їхнім смаковим уподобанням, дієтичним особливостям та індивідуальним потребам (наприклад, лактозо- та глютеніві непереносимості). Водночас, вибір продукції, яка позиціонується як корисна для здоров'я та імунітету – вкрай обмежений, оскільки асортимент продуктів на прилавках магазинів дуже вузький та не має вираженої функціональної спрямованості.

Сформовано фактичні показники, які порівнювали із заявленими виробником безпосередньо на етикетці товару, а під час аналізу смакових якостей ідентифікували типовість смаку для даного типу продукту і з'ясовували присутність нехарактерних смакових властивостей та специфічних сторонніх присмаків (табл. 1). Зміна органолептичних та фізико-хімічних властивостей свідчить про якість та безпечність молочних продуктів.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика отриманих показників зі показниками на етикетці продукції

		
Товарний знак виробника	ТМ «АКТИВІА»	ТМ «АКТИВІА»
Назва продукту	Йогурт 1,5% жиру	Йогурт 1,5% жиру з наповнювачем «Червона калина-злаки»
Нормативний документ	ТУ У 15.5-31489175-010:2008	ТУ У 15.5-31489175-010:2008
Фізико-хімічні показники:	відповідає	відповідає
Масова частка жиру – заявлено на етикетці, % / – фактично, %	1,5/1,5	1,5/1,5
Масова частка білку згідно з ДСТУ ISO 8968-1:2005 – заявлено на етикетці, % / – фактично, %	3,4/3,4	3,2/3,1
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи) згідно ДСТУ 7140:2009 не дозволено в 0,1 см ³	не виявлені в 0,1 см ³	не виявлені в 0,1 см ³
Патогенні мікроорганізми, зокрема бактерії роду <i>Salmonella</i> згідно з ГОСТ 31659-2012 не дозволено в 25 см ³	не виявлені в 25 см ³	не виявлені в 25 см ³
<i>Staphylococcus aureus</i> згідно ГОСТ 30347-97 не дозволено в 1,0 см ³	не виявлені в 1,0 см ³	не виявлені в 1,0 см ³
Дріжджів і пліснявих грибів ДСТУ 8447:2015	відповідає в 1,0 см ³	відповідає в 1,0 см ³

Така об'єктивна характеристика як кількісний вміст білка у молоці та молочних продуктах – першочерговий показник якості, оскільки він визначає харчову та біологічну цінність кінцевого продукту. Така характеристика безумовно вказує на формацію харчового білка, що висвітлює ступінь відповідності складу амінокислот потребам організму в амінокислотах для синтезу білка, враховуючи, що вірогідно саме вони є найціннішою складовою молока. Так, встановлено, що в обраних пробах дослідних зразків нормативний показник вмісту загального білку становив 3,4 г на 100 г продукту у біфідойогурті Активіа без цукру та 3,1 г на 100 г продукту у біфідойогурті Активіа «Червона калина-злаки».

Оцінка технологічних властивостей молока переважно визначається складом його жирних кислот. Жири зумовлюють особливі смакові якості та консистенцію продуктів, що будуть з нього одержані (йогурти, сири тощо). Отримані нами результати щодо вмісту жирів у молочній продукції вказують на те, що зразки йогурту Активія без цукру та Активія «Червона калина-злаки» містять 1,5 г жирів на 100 г продукту.

Наведені характеристики фізико-хімічних показників (табл. 1) підтверджують відповідність показників відносно тих, що були заявлені виробником на етикетці тари напоїв. Співпадіння даних підкреслює факт відсутності порушення норм законодавства, а значить допустимий якості продукту.

Водночас, молочні продукти є середовищем з ідеальними умовами для розмноження мікроорганізмів, тому згідно з вимогами державних стандартів якості України, для забезпечення безпеки молока та молочних продуктів затверджено проведення обов'язкового санітарно-бактеріологічного контролю. Визначається присутність та кількість різних видів мікроорганізмів, таких як мезофільні аеробні та факультативно анаеробні мікроорганізми, бактерій групи кишкової палички, термостійкі, психрофільні та протеолітичні бактерії, ентерококи, стафілококи, стрептококи, сальмонели, *Listeria monocytogenes*, а також плісняві гриби та дріжджі. Це є надзвичайно важливим, оскільки розвиток колоній кисломолочних стрептококів і бактерій, що розкладають лактозу з утворенням молочної кислоти, може спричинити псування молока та молочних продуктів й призвести до погішення здоров'я людей [16].

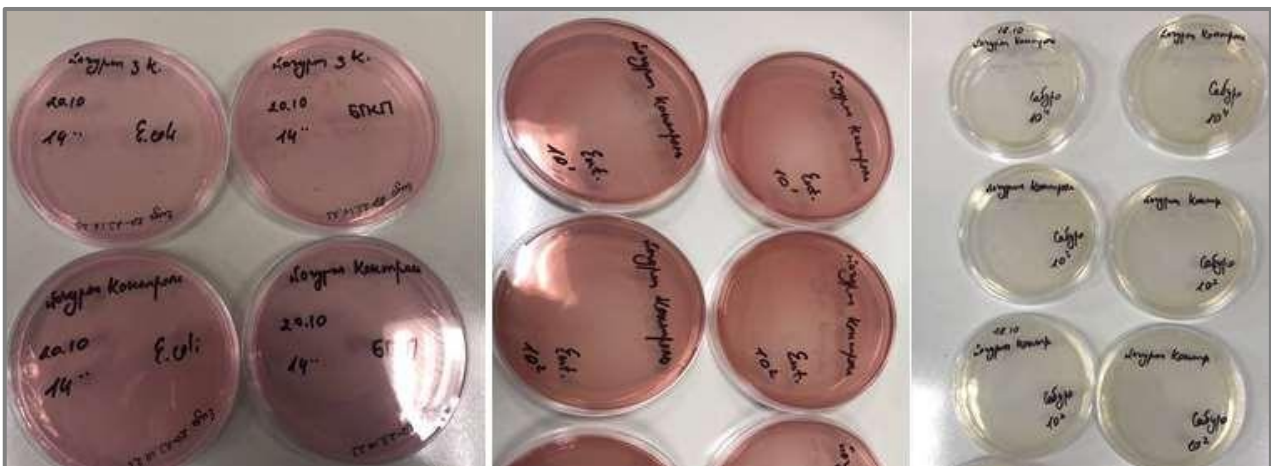


Рис. 3. Результати посівів біфідойогуртів на виявлення санітарно-показових мікроорганізмів

За мікробіологічними критеріями безпечності усі зразки відповідали нормам показників незалежно від присутності наповнювача (рис. 3). Визначені органолептичні показники (запах, смак, консистенція та колір) показали, що смак і запах у біфідойогурту з наповнювачем помірно солодкий, з присмаком відповідного ароматизатора (смаки «Гранат» та «Журавлина»). Аромат та смак калини в йогурті не відчувався, що може бути обумовлено низьким кількісним вмістом плодів наповнювача у йогурті (10% пюре калини від маси наповнювача). За фізичною консистенцією питний біфідойогурт був однорідним з частинками внесених добавок та наповнювачів, які розподілені за всією площею йогурту. Колір продукту відповідає кольору наповнювача – рожевий, проте досить блідий як для калини, гранату та журавлини.

Варто відмітити, що оскільки калина широко представлена на території України, це обумовлює можливість постійного включення свіжого екстракту до складу харчових продуктів, виробництво лінійки дитячого харчування та одержання свіжих соків і морсів, що дозволить розширити спектр харчової ланки корисними продуктами та поповнить запаси

унікальних виробів ринку. Вірогідно, наповнювач, що містить пюре калини може бути використаним у ролі компоненту зі збагаченими смаковими властивостями на рівні із загальноприйнятими в Україні ароматизаторами.

Висновки

1. На українському ринку представлений широкий вибір кисломолочної продукції з різноманітними наповнювачами, але частка продукції, що має виражені функціональні властивості є незначною і не переважає 10 %.

2. Досліджено існуючий на ринку України йогурт з калиновим наповнювачем та показано, що цей продукт повністю відповідає вимогам та критеріям щодо якості кисломолочної продукції, а порівняння йогурту з наповнювачем «Червона калина-злаки» з йогуртом відповідної марки без наповнювача за результатами дає підстави стверджувати придатність отриманих показників висунутим вимогам до безпечності харчової продукції.

3. Встановлено, що додавання екстракту калини безпосередньо впливає на якість йогурту, зокрема на його смакові та органолептичні характеристики. Результатами дослідження виявлено, що наповнювач «калина» не формує негативного впливу на показники біфідойогурта. Водночас, органолептична оцінка виявила, що смаку ягід калини у питному йогурті виробник віддав перевагу ароматизаторам, що імітують смаки «Гранат» та «Журавлина», що вірогідно можна пояснити відсутністю відповідного харчового наповнювача «Калина» у промисловому харчовому виробництві нашої держави, хоча в реєстрі ДСТУ такий ароматизатор вже зареєстрований.

Список використаної літератури

1. Діптан В.С., Нестерова Н.Г. Перспективи створення спеціальних кисломолочних продуктів із рослинним збагаченням / Наука, освіта, технології та суспільство: актуальні проблеми теорії та практики: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Полтава, 25 травня 2022 р.): у 2 ч. Полтава: ЦФЕНД, 2022. Ч. 2. С. 37-39.
2. Горошко О.М. Цілюща сила калини / Горошко О.М., Матушак М.Р. / Буковинський державний медичний університет – 2021. Доступ до ресурсу: <https://www.bsmu.edu.ua/blog/czilyushha-syla-kalyny/>
3. Yaroshenko A. O., Shpychak O. S., Khokhlenkova, N. V., & Yuryeva, G. B. (2023). Development of industrial technology of plant substance of *Viburnum opulus* fruit liquid extract. *Farmatsevychnyi Zhurnal*, (6), 94-103. <https://doi.org/10.32352/0367-3057.6.23.07>
4. Шапіро, Д.К. Біохімічний склад плодів форм *Viburnum opulus L.*, що ростуть у поліссі та лісостепу України / Шапіро Д.К., Кисилевський І.Р., Мороз П.А., Потопальський О.І. // Рослинні ресурси. 1994. – Т. 3. – Вип. 2. – С. 54-63
5. Juhnveica-Radenkova K, Krasnova I, Seglina D, Muizniece-Brasava S, Valdovska A, Radenkovs V. Scrutinizing the Antimicrobial and Antioxidant Potency of European Cranberry Bush (*Viburnum opulus L.*) Extracts. *Horticulturae*. 2024; 10(4), 367 p. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040367>
6. Кисличенко В.С., Дьяконова Я.В. Калина. Фармацевтична енциклопедія. Видання друге, доповнене. – Київ: Моріон, 2010.– С.645-646.
7. Golikova, V. (2023). Research of Antioxidant Activity of Aronia melanocarpa Fruits and Viburnum opulus Fruits. *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.1001147
8. Altun M.L.; Cltoglu G.S.; Yilmaz B.S.; Coban T. Antioxidant properties of *Viburnum opulus* and *Viburnum lantana* growing in Turkey / *International Journal of Food Sciences & Nutrition*, 2008; Vol.59, N. 3. - P. 175-180
9. Şaracı, H., Yılmaz, F., Vural, C., Bahtiyari, M. İ., et al. (2017). Antimicrobial and Antifungal Activity of Fabrics Dyed with *Viburnum opulus* and Onion Skins. *International Journal of Secondary Metabolite*, 4(3, Special Issue 1), 280-284. <https://doi.org/10.21448/ijsm.372225>
10. Паска М.З., Голуб Б.І., Мартинюк І.О., Басараб І.М. Навчальний посібник з дисципліни «Методи контролю харчових виробництв». Львів 2012. – С. 59-65.
11. МОЛОКО Визначення вмісту азоту Частина 1. Метод К'ельдаля (ISO 8968-1:2001, IDT; IDF 20-1:2001, IDT) ДСТУ ISO 8968-1:2005 (IDF 20-1:2001) Доступ до ресурсу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_8968-1_2005.pdf

12. ГОСТ 30347-97 Молоко і молочні продукти. Методи визначення *Staphylococcus aureus* Доступ до ресурсу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76753
13. ГОСТ 31659-2012 Продукти харчові. Метод виявлення бактерій роду *Salmonella*. Доступ до ресурсу: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293785/4293785571.pdf>
14. ДСТУ 7140:2009. Молоко та молочні продукти. Метод підрахування кількості колиформ та кишкової палички (*E. coli*) за допомогою пластин.
15. Продукти харчові. Метод визначення дріждів і плісневих грибів. ДСТУ 8447:2015.
16. Доступ до ресурсу: dstu_8447_2015_produkty_kharchovi_metod_viznachennya_drizhdz.pdf (isu.net.ua)
17. Скляр Т. В., Поспелова О. О., Черевач Н. В., Дрегваль О. А., Курагіна Н.В. Особливості мікрофлори молока та молочних продуктів, що реалізуються в м. Дніпро/ Український журнал медицини, біології та спорту – 2021 – Том 6, № 3 (31) С.353-359 Доступ до ресурсу: <https://jmbs.com.ua/pdf/6/3/jmbs0-2021-6-3-353.pdf>

References

1. Diptan V.S., Nesterova N.G. Perspektivy stvorennya spetsial'nykh kyslomolochnykh produktiv iz roslynnym zbahachennyam / Nauka, osvita, tekhnolohiyi ta suspil'stvo: aktual'ni problemy teorii ta praktyky: zbirnyk tez dopovidey mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi [Prospects for the creation of special fermented milk products with vegetable enrichment / Science, education, technologies and society: current problems of theory and practice: a collection of theses of reports of the international scientific and practical conference] (Poltava, May 25, 2022): at 2 p.m. Poltava: TsFEND, 2022 Part 2. P. 37-39 (in Ukr.).
2. Goroshko O.M. The healing power of viburnum / Horoshko O.M., Matushchak M.R. / Bukovyna State Medical University - 2021(in Ukr.). Access to the resource: <https://www.bsmu.edu.ua/blog/czilyushhasyla-kalyny/>
3. Yaroshenko A. O., Shpychak O. S., Khokhlenkova, N. V., & Yuryeva, G. B. (2023). Development of industrial technology of plant substance of *Viburnum opulus* fruit liquid extract. *Farmatsevychnyi Zhurnal*, (6), 94-103. <https://doi.org/10.32352/0367-3057.6.23.07>
4. Shapiro, D.K. Biochemical composition of the fruits of forms of *Viburnum opulus* L. growing in the polis and forest-steppe of Ukraine / Shapiro D.K., Kysilevskyi I.R., Moroz P.A., Potopalskyi O.I. // *Roslynni resursy* [Plant resources]. 1994. - Volume 3. - Issue 2. - P. 54-63(in Ukr.).
5. Juhnevica-Radenkova K, Krasnova I, Seglina D, Muizniece-Brasava S, Valdovska A, Radenkova V. Scrutinizing the Antimicrobial and Antioxidant Potency of European Cranberry Bush (*Viburnum opulus* L.) Extracts. *Horticulturae*. 2024; 10(4), 367 p. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040367>
6. Kyslychenko V.S., Dyakonova Y.V. Guelder rose. *Farmatsevychna entsyklopediya*. Vydannya druhe, dopovnene. – Kyiv: Morion,[Pharmaceutical encyclopedia. The second edition, supplemented. - Kyiv: Morion], 2010. - P.645-646(in Ukr.).
7. Golikova, V. (2023). Research of Antioxidant Activity of *Aronia melanocarpa* Fruits and *Viburnum opulus* Fruits. *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.1001147
8. Altun M.L.; Cltogl G.S.; Yilmaz B.S.; Coban T. Antioxidant properties of *Viburnum opulus* and *Viburnum lantana* growing in Turkey / *International Journal of Food Sciences & Nutrition*, 2008; Vol. 59, N. 3. - P. 175-180
9. Şapcı, H., Yılmaz, F., Vural, C., Bahtiyari, M.İ., et al. (2017). Antimicrobial and Antifungal Activity of Fabrics Dyed with *Viburnum opulus* and Onion Skins. *International Journal of Secondary Metabolites*, 4(3, Special Issue 1), 280-284. <https://doi.org/10.21448/ijsm.372225>
10. Paska M.Z., Holub B.I., Martyniuk I.O., Basarab I.M. Navchal'nyy posibnyk z dystsypliny «Metody kontrolyu kharchovykh vyrobnytstv» [Training manual on the discipline "Methods of control of food production"]. Lviv 2012. - P. 59-65(in Ukr.).
11. MILK Determination of nitrogen content Part 1. Kjeldahl method (ISO 8968-1:2001, IDT; IDF 20-1:2001, IDT) DSTU ISO 8968-1:2005 (IDF 20-1:2001) (in Ukr.). Access to the resource: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_8968-1_2005.pdf
12. GOST 30347-97 Milk and dairy products. Methods of determining *Staphylococcus aureus* (in Ukr.). Access to the resource: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76753
13. GOST 31659-2012 Food products. Method for detection of *Salmonella* bacteria (in Ukr.). Access to the resource: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293785/4293785571.pdf>

14. DSTU 7140:2009. Milk and dairy products. The method of counting the number of coliforms and coliforms (*E. coli*) using plates (in Ukr.).
15. Food products. The method of determining yeast and mold fungi. DSTU 8447:2015(in Ukr.).
16. Access to the resource: dsu_8447_2015_produkty_kharchovi_metod_viznachennya_drizhdz.pdf (isu.net.ua)
17. Sklyar T.V., Pospelova O.O., Cherevach N.V., Dregval O.A., Kuragina N.V. Osoblyvosti mikroflory moloka ta molochnykh produktiv, shcho realizuyut'sya v m. Dnipro/ Ukrayins'kyi zhurnal medytsyny, biolohiyi ta sportu [Features of the microflora of milk and dairy products sold in the city of Dnipro / Ukrainian Journal of Medicine, Biology and Sports] - 2021 - Volume 6, No. 3 (31) P.353-359(in Ukr.). Access to the resource: <https://jmbs.com.ua/pdf/6/3/jmbs0-2021-6-3-353.pdf>

Mykhailenko M.M., Nesterova N.G., Likar S.P. PERSPECTIVES OF USING VIBURNUM PLANTS FOR IMPROVING THE FUNCTIONAL QUALITY OF DAIRY PRODUCTS

Introduction. *In today's conditions, existing problems of healthy nutrition indicate the need to find new or improve existing production cycles of biologically valuable and significant food products. To improve the nutritional value and functional properties of fermented milk products, primarily yogurts, to the composition of which various plant fillers are added, with the aim of providing the product with a therapeutic and preventive effect. Particular attention should be paid to plant Viburnum as an effective component for improving the quality and beneficial properties of fermented milk products on the market of Ukraine.*

Purpose. *To investigate the prospects of using Viburnum plants as an effective component to improve the quality and beneficial properties of fermented milk products on the market of Ukraine.*

Methods. *Selected samples were examined by laboratory methods for organoleptic, physicochemical and microbiological parameters. Research was conducted in accordance with generally accepted methods of sanitary and bacteriological control using relevant Ukrainian standards and foreign instructions.*

Results. *As a result of generalization of own data and analysis of published literature sources it was concluded that the Ukrainian market offers a wide selection of fermented milk products with various fillers, but the share of products with pronounced functional properties is insignificant and does not exceed 10%. The existing yogurt with viburnum filling on the market of Ukraine was investigated. The obtained results indicate that this product fully meets the requirements and criteria for the quality of fermented milk products, and the comparison of yogurt with filler "Chervona Kalyna-Zlaky" with yogurt of the corresponding brand without filler, according to the results, gives grounds for asserting the suitability of the obtained indicators to the stated requirements for food products.*

Originality. *The study of the influence of the Viburnum plant is expedient and aims to determine the influence of viburnum on the organoleptic and chemical characteristics of fermented milk products.*

Conclusion. *It was established that the individual types of yogurts with Viburnum filler presented on the market of Ukraine fully meet the requirements and criteria for the quality of fermented milk products, and the comparative evaluation with yogurt of the corresponding brand without filler based on the results obtained gives reasons to assert the suitability of the obtained indicators to the stated requirements for food products. It has been reliably shown that the filler "Viburnum" does not have a negative effect on the physicochemical and microbiological indicators of bifidoyogurt and can be used as a flavor component at the same level as flavorings generally accepted in Ukraine. So, viburnum fruits are a promising filler for the Ukrainian market, possess medicinal preventive action on the human body and is a relatively cheap raw material for cultivation in our country.*

Key words: *Viburnum, functional food products, fermented milk products, yogurts, food industry, quality control.*

Одержано редакцією: 12.04.2024

Прийнято до публікації: 15.05.2024

УДК 544.16 + 577.15

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-131-140

Борис Пилипович МінаєвЧеркаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Україна
Факультет фізики та астрономії університету Уппсали, Уппсала, Швеціяbfmin43@ukr.netORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9165-9649>**Олександр Олександрович Панченко**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

panchenko9b@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7669-1424>**Олександр Володимирович Решетняк**

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

oleksandr.reshetnyak@lnu.edu.uaORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9669-9431>

СПНОВІ МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ КИСНЮ ТА ЙОГО АКТИВНИХ ВІЛЬНОРАДИКАЛЬНИХ ФОРМ

Аеробне життя ґрунтується на диханні киснем повітря. На відміну від переважної більшості хімічно стабільних речовин, молекула O_2 має два неспарених електрони з паралельними спінами, тобто є триплетним бірадикалом. Ці два неспарених електрони молекули O_2 означають, що кисень є парамагнітним газом, тоді як багато інших хімічних речовин є діамагнетиками, включаючи майже всі органічні стабільні компоненти живої клітини, які складаються з біополімерів та молекул (ДНК, РНК, білків, ліпідів, вуглеводів, ферментів, ФАД, НАД, тощо). Всі вони мають парну кількість електронів, які в свою чергу спарені з антипаралельними спінами згідно з принципом Паулі і дають сумарний спін рівний нулю. За рахунок окисно-відновних реакцій в клітинах аеробного організму постійно відбувається утворення активних форм кисню (АФК), тобто супероксиду $O_2^{\bullet-}$, гідроксильного OH^{\bullet} і пероксидних радикалів $\bullet RO_2$, $\bullet OH_2$, синглетного кисню $O_2(^1\Delta_g)$, пероксинітриту ONO_2^{\bullet} , пероксиду водню O_2H_2 та інших, які відіграють важливу роль у багатьох фізіологічних процесах. Таких як транспортування електронів у дихальному ланцюзі, синтез простагландинів, передача сигналів на регуляторні системи, які контролюють тонус судин, реакцію на мікроби, експресію генів, та інші. Цей огляд описує залежні від обертання спіну істотні особливості участі кисню та АФК в аеробному житті.

Ключові слова: триплетний кисень; синглетний кисень; іон супероксиду; парамагнетизм; міоглобін; гемоглобін; активні форми кисню; ефекти зовнішнього магнітного поля.

Постановка питання. Багато атомів мають неспарені електрони, але, потрапляючи в молекулу, їх спіни стають спареними і цей процес супроводжує утворення ковалентних хімічних зв'язків. Молекула $O=O$ має подвійний хімічний зв'язок, але через особливу симетрію валентної оболонки O_2 , її основний стан (найстабільніший з найменшою внутрішньою енергією) утримує два неспарених електрони з паралельними спінами ($\uparrow\uparrow$). Такий стан має повний електронний спін $S = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$ з трьома можливими проєкціями кутового моменту на молекулярну вісь $M_s = 0, \pm 1$ (в одиницях сталої Планка $h/2\pi$) [1]; таким чином, цей стан називається спіновим триплетом [2]. Звичайні молекули з антипаралельними спінами ($\uparrow\downarrow$) мають загальний електронний спін $S=0$ (вони не мають власного магнітного моменту), що відповідає синглетному діамагнітному стану. Як і O_2 , іон $Fe(II)$ у гемоглобіні також є парамагнітним, і його сполучення з киснем є складним процесом, що залежить від квантового електронного обміну та спін-орбітальної взаємодії [3–5]. Але загальні численні реакції окиснення їжі та різних метаболітів в живому організмі включають реакції триплетного O_2 з органікою і мають бути забороненими за спіном, тому як продукти такого окиснення теж являються діамагнітними стабільними речовинами: при повному окисненні

органічних молекул одержуємо воду, вуглекислий газ і молекулярний азот [6]. Якщо окиснення їжі в циклі Кребса проходить за допомогою парамагнітних метало-комплексів (міді і заліза) в цитохром-с-оксидазі та формально воно не заборонено за спіном, то в багатьох інших окиснювальних ензимах, коферменти яких не мають іонів металу з неспареним спіном, проблема біохімічного проникнення триплетного кисню в органічні речовини до сих пір не зрозуміла для широкого загалу наукової спільноти [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Активація O_2 при диханні і багатьох інших окисно-відновних процесах супроводжується спін-обміном з парамагнітними іонами металів і обертанням спінів [4]. В усіх аеробних організмах постійно продукуються активні форми кисню (АФК) у відповідь на ендогенні та екзогенні фактори [7, 8]. Такі важливі біологічні процеси, як транспорт електронів у дихальному ланцюзі, проліферація і диференціація клітин, фагоцитоз супроводжуються синтезом АФК [8]. Теж саме відбувається при синтезі простагландинів і лейкотрієнів, окисненні ліпідів, метаболізмі і синтезі катехоламінів та ін. реакціях. Ішемічні зміни в тканинах також пов'язані з надмірною активністю АФК [6, 8]. У реакціях вільних радикалів, котрі сприяють утворенню АФК відбуваються зміни спінового стану молекул [5]. При цьому у фізіологічних концентраціях вільні радикали АФК та їх діамагнітні частинки ($ONO_2^{\cdot-}$, O_2H_2) беруть участь у таких процесах, як передача сигналу в клітині, захист від мікробів та інших екзогенних організмів. Таким чином, як надмірне утворення вільних радикалів АФК так і їх недостатня інактивація призводять до порушення структури клітин та процесів метаболізму [5–8]. Джерелами АФК в організмі є мітохондріальний, мікосомальний і фагоцитарний електронно-транспортні ланцюги окиснення, моно- і діоксигенази, моноамінооксидаза, ксантиноксидаза, глюкозоксидаза та багато інших ензимів, а також взаємодія іонів металів змінної валентності з киснем та відновниками у координаційній сфері металу [2–9]. Розглянемо послідовність подій, які передували виявленню ролі АФК і спіну в біології [8–9].

Оскар Рааб помітив ще на початку ХХ століття, що забарвлені клітини гинуть при освітленні [10]. Це явище було названо «фотодинамічною дією», щоб відрізнити його від фотосенсибілізації у фотографії [10]. Незабаром було показано, що для спостереження фотодинамічної дії на клітини еритроцитів необхідна присутність кисню, а активні барвники, що знищували еритроцити, мають інтенсивну флуоресценцію; при цьому довжини хвиль світла для збудження фотодинамічної дії збігалися зі спектром поглинання барвника. Стало очевидним залучення молекулярного кисню через фотосенсибілізацію барвника і було запропоновано, що первинна стадія фотодинамічної дії подібна до фотоокиснення, яке спостерігають в біологічних розчинниках [10]. Гіпотези первинного фотодегідровання, засновані на ідеї «молоксиду» та «активного кисню» стали популярними та обговорювалися протягом тривалого часу [10, 11]. Г. Шенк і співроб. [11] пропонували розділити усі такі фотореакції на два типи. Тип I охоплює ті реакції, первинна стадія яких включає фотодегідровання субстрату окиснення; II тип – реакції переносу кисню з первинною стадією комплексоутворення гіпотетичного асоціату між O_2 і збудженим барвником («молоксидом»). Пізніше К. Фуг [11] модифікував цю класифікацію: тип I включає всі реакції, де первинною стадією є утворення вільних радикалів із збудженого фотосенсибілізатора; тип II відноситься до тих процесів, які включають взаємодію збудженого фотосенсибілізатора з киснем як первинний акт, що породжує синглетний кисень. Ця класифікація Фуґа зараз є загальноприйнятою, і інтерес до реакцій типу II постійно зростає [10, 11]. Але головне відкриття в галузі біохімії АФК зробили МакКорд і Фрідович у 1969 році і воно було пов'язане з супероксид дисмутазою [9].

Мета статті. У фізіологічних умовах АФК продукуються в невеликій кількості у дихальній системі мітохондрій внаслідок "витоку" малої частки (5–10%) електронів, що транспортуються по ланцюгу в циклі Кребса [8]. Супероксид утворюється при роботі окисних ферментів, які беруть участь у процесі сполучення дихання з окисним

фосфорилуванням. Супероксид аніон радикал $O_2^{\bullet -}$ лежить в основі багатьох окисних процесів у мітохондріях як проміжний продукт, але може стати вільним радикалом як результат "витоку" з нормального ходу ферментативних реакцій [7]. В статті показано, що причини "витоку" супероксид іону пов'язані з дією внутрішніх магнітних сил притаманних молекулярному кисню та аналогічним структурам АФК ($O_2^{\bullet -}$, $OH\bullet$, $O_2H\bullet$, $\bullet NO$, $O_2R\bullet$).

Швидкість утворення супероксиду у мітохондріях прямо залежить від ступеня спряженості дихальної системи і різко підвищується при її блокаді. Цей процес веде до відновлення переносників на ділянках, що передують блокаді, і посиленню "витоку" електронів. Супероксид іон є родоначальником появи інших АФК в організмі, які формують сигнальну систему регуляції багатьох фізіологічних функцій і також пов'язані з захворюваннями і старінням. Нами встановлено, що "витік" електронів і супероксиду в мітохондріях, як і механізм дії ряду оксидаз і оксигеназ корінним чином залежать від спін-орбітальної взаємодії в супероксид іоні [12].

Не так багато лікарів і навіть біологів [6] знають про найважливіші перешкоди проблем аеробного життя, дихання, численних патологій та респіраторної допомоги, які безпосередньо визначаються парамагнетизмом, та електронною структурою молекулярного кисню [3], а також особливостями магнітних властивостей O_2 і АФК пов'язаних з спіном електрону та можливістю його обертання. Метою огляду є – показати як спін-орбітальна взаємодія в АФК впливає на перебіг важливих ферментативних процесів в оксидазах і оксигеназах, які складаються суто із білків, що навіть не мають ні металічного, ні власне органічного кофактора. Якщо металовмісні ферменти, такі як цитохром с-оксидаза, або мідь-амінооксидаза, активують триплетний кисень за рахунок спін-обміну з координаційною сферою іонів заліза та міді, що цілком зрозуміло з фізичної точки зору [4], то суто білкові оксигенази залишаються таємницею сучасної біохімії [6]. Відкриття магнітних властивостей ряду АФК, таких як супероксид аніон, пероксинітрит аніон, оксид азоту пояснює цілий ряд загадок сучасної ензимології і медицини [5, 7].

Виклад основного матеріалу дослідження. Давно відомо, що кисень повітря може бути або хімічно інертним, або надзвичайно активним залежно від обмінного впливу на його спін і присутності радикалів у близькому оточенні [1]. У різних процесах від горіння до дихання цей простий двохатомний прозорий газ міг проявляти шалену активність, незважаючи на мільярди років пасивного перебування в атмосфері Землі без видимих змін у великому газовому океані [1]. Парамагнітний триплетний кисень утворюється завдяки фотосинтетичним системам рослин і бактерій із діаманітних речовин H_2O та CO_2 , що саме по собі є порушенням правила збереження спіна Вігнера-Вітмера, добре відомого в сучасній хімії [4, 7]. Процес фотосинтезу з заповненням нашої планети киснем розпочався приблизно 2,4 мільярда років тому. Спочатку кисень був витрачений на окиснення металів, а потім O_2 використовувався під час тривалої аеробної еволюції життя на планеті, допоки не було досягнуто високого рівня в 21% кисню в атмосфері по масі та не сформувалося сучасне різноманіття життя. В даний час кисень захищає життя на Землі від сонячного дальнього ультрафіолетового (УФ) випромінювання через його поглинання в діапазоні смуги Шумана-Рунге (175–205 нм), а також створюючи стратосферний озоновий шар, який захищає нас від більш м'якого УФ випромінювання [1]. Розуміння енергетичних механізмів циклу Кребса та фотосистеми II досягнуто лише нещодавно за допомогою сучасних методів квантової хімії [4], хоча проблеми збереження електронного спіну при цьому не акцентуються.

На наш погляд проблеми біоактивації кисню треба починати вивчати з аналізу спектральних даних про взаємодію O_2 та АФК зі світлом. Короткий огляд люмінесцентних властивостей кисню є корисним, враховуючи велике значення фотохімії синглетного кисню в біологічних розчинниках для сучасної медичної діагностики та терапії. Але аналіз спектрів O_2 і АФК дає змогу розкрити важливу роль внутрішніх магнітних взаємодій в подоланні спін-заборони [10]. Проста схема утворення синглетного кисню та діаграма Яблонського

представлені на рис. 1. Аналіз інтенсивності відповідних смуг випромінювання та поглинання торкається найбільш фундаментальних принципів фізичної хімії: ролі спіну та спин-орбітальної взаємодії при контактах квантів світла з молекулами в реакційноздатному середовищі, взаємодії перенесення заряду та спин-обміну, теорії розчинників тощо [1, 4]. Таким чином, описаний вище аналіз краще робити крок за кроком, починаючи з розрідженого газу кисню. Синглет-триплетні (С–Т) переходи у вільній молекулі O_2 суворо заборонені в електро-дипольному наближенні та є дозволенними лише як магнітне випромінювання, якщо врахувати спин-орбітальну взаємодію [1, 5].

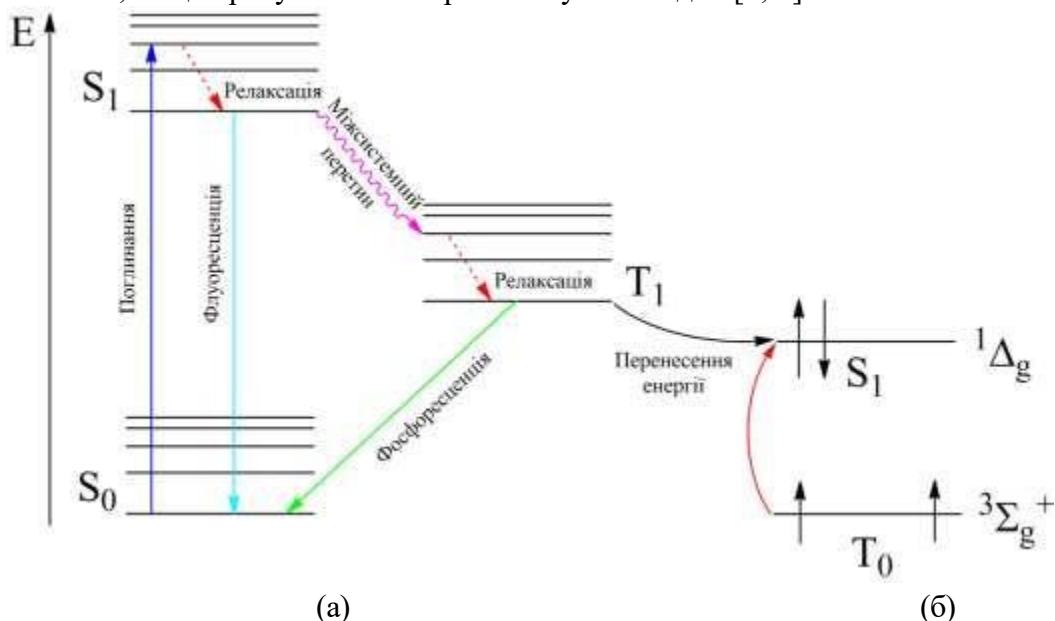
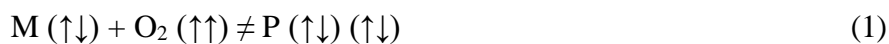


Рис. 1. Діаграма Яблонського (а) та схема утворення синглетного кисню (б)
 С-Т переходи в газофазному кисні, як і його атмосферні смуги $a^1\Delta_g \rightarrow X^3\Sigma_g^-$ (1270 нм)
 та $b^1\Sigma_g^+ \rightarrow X^3\Sigma_g^-$ (760 нм) заборонені правилами відбору для електро-дипольного

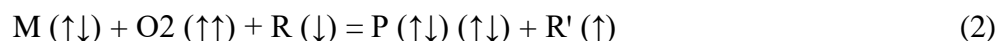
випромінювання. Вони відбуваються як слабкі магнітні (або електро-квадрупольні) переходи за рахунок СОВ, яке змішує відповідні Т і С стани [4].

Хімія, спектроскопія і біохімія кисню визначаються значною мірою магнітними властивостями цієї молекули. Нагадаємо, що більшість органічних речовин є діаманетиками, тому що для насичення їх молекул (М) ковалентним зв'язком необхідне спарення спінів і гасіння повного спіну до синглетного основного стану [3]. Тому їх реакції з молекулою триплетного кисню із повітря є реакціями забороненими за спіном, оскільки відомо, що продукти (Р) такого окиснення також є молекулами у синглетному стані тому, що всі органічні речовини окиснюються до води, вуглекислого газу і азоту; H_2O , CO_2 і N_2 , які є діаманетиками [4]:

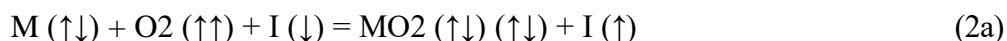


Щоб завершити таку реакцію, необхідно щоб відбувся переворот спіну, як бачимо з рівн. (1). Переворот спінового магнітного моменту в реакції (1) може бути викликаний лише взаємодією з зовнішнім магнітним полем, але за рахунок внутрішніх магнітних взаємодій в реагентах реакції [3]. Добре відомо, що реакції окиснення органічних речовин протікають і без впливу зовнішніх магнітних полів [4]. Усі хімічні процеси визначаються в основному суто електричними силами (взаємодіями між зарядженими мікрочастинками, тобто електронами та атомними ядрами) [1]. Чисті, суто магнітні, взаємодії є надзвичайно слабкими в органічних молекулах, до складу яких входять легкі атоми; таким чином, вони обґрунтовано нехтуються в традиційній квантовій хімії [1]; для їх додаткового аналізу

зазвичай використовують теорію збурень (ТЗ). Ця теорія враховує слабкі взаємодії, якими можливо нехтувати при розв'язанні рівняння Шредінгера, де враховані всі електричні сили у молекулярному потенціалі, що визначає загальну енергетику молекули, її основного і збуджених станів та їх хвильові функції [4]. ТЗ дозволяє врахувати поправки до енергій та до хвильових функцій через матричні елементи оператора енергії збурення. Останні дуже малі для магнітних збурень в органічних молекулах [1]. Тому реакція в рівн. (1) є забороненою за правилом відбору Вігнера-Вітмера для збереження спіну. Яким чином реакції горіння органіки і дихання можливо підтримувати молекулярним киснем з повітря? Реальний механізм процесу горіння, позначений рівнянням (1), як відомо, включає численні проміжні ланцюгові реакції, ініційовані короткоживучими органічними радикалами (R), які мають хоча б один неспарений електрон (R – це активні форми уламків органічних молекул):



Важливо звернути увагу на спін радикалів R і R' в рівн. (2). Новоутворений радикал R' здатний знову реагувати з киснем без заборони за спіном, оскільки загальний спін ($S = 1/2$) разом із його проекцією ($M_S = +1/2$) буде таким самим, як у правій, так і лівій частинах рівн. (2). Хитрість полягає в тому, що конкретна орієнтація спінів, вказана в рівн. (2), можлива лише при такому особливому зіткненні частинок $O_2(\uparrow\uparrow)$ і $R(\downarrow)$ тому що всі орієнтації спінів в реальних умовах є випадковими [5]. Нова органічна молекула M може реагувати з киснем, створюючи той самий діаманітний продукт $P(\uparrow\downarrow)$ через участь проміжного радикала R'. Новоутворений радикал R' в реакції (2) згораючи в полум'ї і стикаючись з новою молекулою O_2 знову може мати будь-яку орієнтацію спінів [7]. Таким чином, горіння протікає як ланцюгова радикальна реакція (частіше як розгалужена ланцюгова радикальна реакція) [4]. Спінова пам'ять парамагнітних частинок при горінні втрачається за рахунок випадкових зіткнень в об'ємі полум'я, куди потрапляють новоутворені радикали R' реакції (2) з будь-якою новою взаємною орієнтацією спінів до молекули кисню. Але біо-окиснення протікає всередині активних центрів спірально-скручених білкових ензимів, де парамагнітний іон металу (якщо він є у кофакторі) міцно зв'язаний всередині амінокислотних залишків пептидних полімерів [4]. Якщо іон металу позначити як I (\downarrow), то ензиматичне окиснення визначається рівнянням (2a) і воно протікає всередині активного центру ензиму без повторних зіткнень в один кінетичний акт



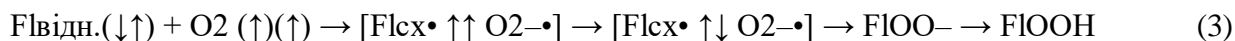
Тут формально відбувся обмін поміченими спінами між киснем та іоном металу. В квантовій механіці йому відповідає так звана обмінна взаємодія, обумовлена перекриванням електронних оболонок кисню і парамагнітного іону в координаційній сфері металу [4]. По фізичному змісту обмінна взаємодія зводиться до кулонівського відштовхування двох електронів, які обмінюються орбіталями; вона не включає магнітних сил [7].

Відомо, що процеси горіння і дихання ідентичні за екзотермічним ефектом цих реакцій і за їх продуктами H_2O , N_2 і CO_2 . Виникає питання: «Коли біоактиватор забезпечує «відповідні спіни» для ініціювання появи парамагнітних радикалів при диханні киснем у клітині»? Однак, зрозуміло, що дихання не може відбуватися за механізмом радикальн о-ланцюгової реакції, бо кількість радикалів в ланцюзі зростає та призведе до згорання клітини. За дихання відповідає цикл Кребса – цикл трикарбонової кислоти – багатоступінчастий процес, де кисень активується ферментом цитохром-с-оксидазою в присутності парамагнітних іонів металів (заліза і міді) [5]. Іон забезпечує неспарений спін, який взаємодіє з триплетним киснем шляхом спін-обмінної взаємодії (2a), що призводить до ефективного процесу, дозволеного за спіном [3]. Іон Fe(II) у гемоглобіні також є парамагнітним, і його сполучення з O_2 є складним процесом, що залежить від спін-обміну та ще і спін-орбітальної взаємодії.

Два основних процеси аеробної життєдіяльності, фотосинтез і дихання, представляють собою заборонені за спіном реакції, які активуються присутністю парамагнітних іонів Mg (II) та Fe (II)–Cu (II), відповідно [4]. Молекула O₂ (↑↑) з повітря проникає через легеневу альвеолу і, зв'язуючись з іонами Fe(II) гемоглобіну, переноситься до клітини. Крім дихання, кисень забезпечує багато інших корисних реакцій окиснення, активуючи їх різними оксидазами, пероксидазами, моно- та ді-оксигеназами [6]. Багато з них також містять кофактори з парамагнітними іонами металів, але багато інших включають флавіни та птерини як органічні кофактори без будь-яких парамагнітних частинок [6–9]. Їхній механізм активації кисню для подолання заборони обертання спіну залишається досі невідомим [6]. Крім того, зараз відомо кілька нових білкових ферментів, які взагалі не мають жодного кофактора, але можуть активувати кисень O₂(↑↑) для окиснення органічного субстрату [5–7]. Фізично обґрунтована концепція сильного внутрішнього збурення за рахунок магнітної спін-орбітальної взаємодії (COB) всередині проміжного аніон-радикала O₂⁻ [3] може пояснити всі особливості оксидаз та оксигеназ, які діють без участі металів [3] і навіть без участі кофактору [5–12]. Хоча деякі біохіміки у своїх експериментальних працях вже прийняли ідею сильного магнітного обертального моменту (magnetic torque) в супероксидному аніон-радикалі [4], але в більшості публікацій [6] теорію COB у сполучі O₂⁻, як основного ініціюючого фактору аеробного обміну речовин в окисно-відновній системі гомеостазу [12] не цитують (тобто не знають, або не визнають).

Флавін- і птерин-залежні ферменти зустрічаються всюди в аеробному житті (від бактерій до людини) [6]. Їх ізоалоксазиновий і птериновий цикли можуть зазнавати багатоступінчастих окисно-відновних процесів шляхом перенесення електронів залучаючи субстрати і кисень. Різні окисно-відновні стани флавінів і птерину відіграють важливу роль у процесах перенесення електронів, які є вирішальними для важливих біологічних функцій, таких як апоптоз, згортання білка, відновлення ДНК, динаміка цитоскелету, детоксикація, метилювання РНК, розвиток нервової системи, біосинтез, виробництво енергії окиснення, циркадний ритм і біодеградація. Різні форми тимчасових проміжних продуктів радикальних пар (РП) можуть утворюватися під час реакцій, що каталізуються флавін- і птерин-залежними ферментами, включаючи таку відому окисно-відновну РП як FADH[•](↑)...Q⁻(↓) [12].

Окиснення за участю флаво-ферментів біохіміки ретельно вивчали багато десятиліть протягом минулого сторіччя [6]. Відновлений флавін (F^{відн.}) може бути окиснений до семіхінонового радикала (F^{сх•}) з подальшим утворенням флавіно-пероксиду F^{сх•}OOH [2]. У 1994 році Вінсент Мессі постулював перенесення електрона від відновленого флавіну (F^{відн.}) до кисню та утворення проміжної радикальної пари між супероксид-іоном O₂⁻ і семіхіноном F^{сх•} (типу FADH[•]) у такому вигляді [2]:

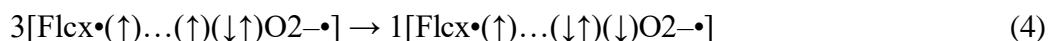


Триплетна РП → Синглетна РП

Наприклад, відновлений депротонований флавін у формі аніону FADH⁻ на початку окисних напівреакцій глюкозооксидази (ГО) може віддати електрон триплетній молекулі O₂ і утворити триплетну радикальну пару (РП) між семіхіноном F^{сх•} (↑) (у формі FADH[•]) і супероксидом O₂⁻ (↑), рівн. (3). Вінсент Мессі ніяк не прокоментував [2] походження магнітної сили, що відповідає за перевертання спіну в рівнянні (3). Він, навіть, не казав, що треба якийсь магнітне втручання щоб відбувся триплет-синглетний перехід в реакції (3). Але можна підозрювати, що він мав на увазі теорію радикальних пар (ТРП), яка була досить популярною у вісімдесятих роках минулого століття для пояснення ефектів зовнішнього магнітного поля в хімії, а потім (значно пізніше) – і в біохімії, хоча ніхто досі не звернувся до обговорення ідеї Вінсента Мессі з боку магнітохімії [6]. ТРП розглядає триплет-синглетний (Т–С) перехід у рівн. (3) як індукований надтонкою взаємодією (НТВ) між ядрними та

електронними спінами в розділених радикалах всередині незв'язаної але корельованої радикальної пари. Тобто РП, породжена при перенесенні електрона, зберігає триплетний спін при дисоціації на радикали в розчині, поки йде їх дифузія до повторної зустрічі в клітині розчинника. При цьому, триплетний і синглетний стани мають однакову енергію (вони вироджені) в ТРП, тому що вони розділені великою відстанню (до 10-30 нм в клітині розчинника); таким чином, навіть дуже слабка надтонка взаємодія може індукувати Т–С перехід в такій дифузній РП. Після Т–С переходу радикальна пара може рекомбінувати при повторному зіткненні і такий перехід залежить також від зовнішнього магнітного поля, яке розщеплює триплетні спін-підрівні. Теорія радикальних пар може бути застосована до окиснення вільного флавіну в розчинниках, але не застосовується до справжніх ферментів, де FADH^{\bullet} і $\text{O}_2^{\bullet-}$ міцно зв'язані в активному центрі фермента ГО [3]. Розкриття походження рушійної сили перевертання спіна в рівн. (3) є основною проблемою активації O_2 численними ферментами; знання такого механізму має вирішальне значення для багатьох практичних біохімічних і медичних застосувань [6, 12].

Пояснення Т-С переходу у рівн. (3) були запропоновані в роботі [3] двадцять два роки тому з урахуванням двох можливих електронних конфігурацій супероксид-іона у виродженій $(\pi_g)^3$ відкритій оболонці $(\uparrow)(\downarrow\uparrow)$ і $(\downarrow\uparrow)(\downarrow)$, де дужки стосуються $\pi_{g,x}$ та $\pi_{g,y}$ молекулярних орбіталей (МО) іону $\text{O}_2^{\bullet-}$; таким чином, Т-С перехід у радикальній парі рівняння (3) можна подати у вигляді



Триплетний і синглетний стани в рівн. (4) відрізняються електронними конфігураціями всередині супероксид-іона, які є дійсно виродженими в основному стані $X^2\Pi$ іона $\text{O}_2^{\bullet-}$. Такий Т–С перехід включає орбітальне обертання $\pi_{g,x} \rightarrow \pi_{g,y}$ навколо z -осі для позначеного червоним електрона з одночасним перевертанням спіна. Таке орбітальне обертання створює магнітний момент Т–С переходу, який відповідає за інверсію спіну [7]. Внутрішнє магнітне поле цього обертання виродженої молекулярної орбіталі π_g впливає на магнітний момент спіна і змушує його перевернутися. Оскільки це суто квантовий Т–С перехід, то наглядна інтерпретація страждає умовністю; обертання молекулярної орбіталі навколо z -осі молекули при переході треба розуміти як обертання «електронної густини переходу».

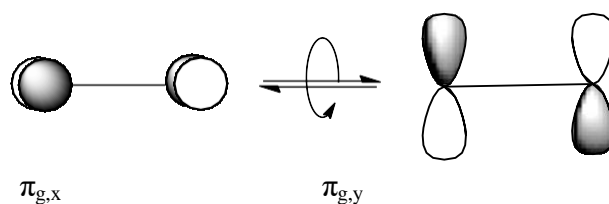


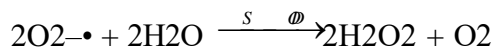
Схема 1. Обертання орбіталі навколо осі іону $\text{O}_2^{\bullet-}$ при Т–С переході (4)

Тому, Т і С стани в рівн. (4) пов'язані сильною спін-орбітальною взаємодією; вона дорівнює величині $\frac{1}{2}A_{SO}$, де A_{SO} є константою СОВ основного стану $X^2\Pi$ двохатомної молекули $\text{O}_2^{\bullet-}$ [5]. У простому наближенні константа $A_{SO}(X^2\Pi, \text{O}_2^{\bullet-})$ дорівнює константі СОВ (ζ_O) основного $O(3P)$ стану атома кисню $A_{SO} = \zeta_O$, яка близька до 160 cm^{-1} (0.02 eV) [1, 5]. Цей простий аналіз повністю підтверджується експериментальними вимірюваннями тонкої структури $\text{O}_2^{\bullet-}$ іону яку спостерігали як розщеплення в спектрі іонного пучка. Ця енергія (1.9 кДж/моль) в мільйони разів перевищує надтонку взаємодію між ядерним і електронним спінами в теорії РП [7].

Важливо підкреслити, що спін флавінового семіхінон-радикала в формулі (4) відіграє пасивну роль. Він не дає жодного внеску в інтеграл СОВ (матричний елемент $\langle \Psi_T | H_{SOC} | \Psi_S \rangle$)

[1, 5]. Флавіновий семіхінон-радикал лише додає свій спін в триплетну РП. Його може замінити будь-який органічний субстрат, здатний віддавати електрони на кисень, що і реалізується в оксидазах, вільних від кофактора [5, 7]. Наведена вище проста теорія активації O_2 була вперше обґрунтована при аналізі механізму гасіння синглетного кисню при зіткненні з амінами [1]. Теорія COB в супероксиді має бути включена в усі підручники з біохімії та медицини. (Адже теорія COB в атомах розглядається в загальному курсі фізики на всіх природничих факультетах у вищих навчальних закладах України).

АФК не накопичуються у клітинах за нормальних фізіологічних умов. При збільшенні їх концентрації відбувається спонтанна або ензиматична дисмутація супероксидного радикалу і утворюється пероксид водню.



де SOD це супероксид дисмутаза – первісний ензим аеробного життя [8, 9].

Тобто у випадку супероксидного радикалу синглетний кисень утворюється при спонтанній дисмутації (при відриві електрона з однократно зайнятою МО, рівн. 4), а молекулярний триплетний кисень – при ензиматичній дисмутації за рахунок SOD [9]. Молекула пероксиду водню є невеликою та електронейтральною частинкою, завдяки чому вона може проходити крізь мембрани клітин і перетворюватися у гідроксил-радикали ($H_2O_2 + e^- \rightarrow OH^{\cdot} + OH^-$), де катіон феруму (II) є донором електронів в цій реакції Фентона. Будь-який стрес завжди супроводжується тимчасовим зростанням концентрації АФК. АФК передають сигнали до генів, що кодують ферменти антиоксидантів і таким чином організм при звичається до надзвичайних умов.

Висновки. Таким чином, біохімічна реакційна здатність кисню сильно залежить від спінових властивостей електронів. Незважаючи на дивовижні відкриття в молекулярній електроніці та спінтроніці, сучасна теоретична хімія досі зберігає в мовчанні багато таємниць біоактивації кисню [7]. Фундаментальні основи медичної допомоги, нові терапевтичні та діагностичні методи будуть сильно залежати від прогресу теоретичної фізики та квантової хімії у дослідженнях спінових взаємодій в ферментах.

У результаті окисно-відновних реакцій в організмі людини постійно проходить генерація активних форм кисню: радикалів $O_2^{\cdot-}$, $\bullet OH$, $\bullet RO_2$, $\bullet NO_2$, $\bullet NO$, а також пероксиду водню (H_2O_2), синглетного кисню $O_2(^1\Delta_g)$, озону, гіпохлориту, пероксинітриду, та інших частинок АФК, що не мають спіну, які відіграють важливу роль у багатьох біохімічних і фізіологічних процесах: клітинній проліферації, регуляції тону судин, синтезі простагландинів, передачі міжклітинних сигналів від АФК до сигнальних молекул і рецепторів. Ці сигнали АФК впливають на регуляторні системи, які контролюють мікробіцидну дію фагоцитів, експресію генів та відгук на ендогенні зовнішні впливи – вони теж залишають від спінових і магнітних взаємодій.

Навіть сьогодні хімія кисню продовжує кидати виклик сучасним галузям досліджень у фізиці, біології та медицині, незважаючи на величезну увагу, привернуту протягом приблизно 200 років тим проблемам, які були підняті після відкриттів Фарадея та Лавуазьє, які встановили парамагнетизм O_2 та його здатність підтримувати дихання та горіння [4]. Квантова хімія пояснила кисневий парамагнетизм спіновими властивостями, але головоломки багатьох ферментів із забороненою за спіном активацією кисню та утворенням АФК досі не повністю зрозумілі [6–8]. В першу чергу це стосується тих оксидаз і оксигеназ, які не мають іонів парамагнітних металів, а також і суто органічних ферментів вільних від будь-якого кофактору.

Триплетний кисень проявляє повільну хімічну реакційну здатність, коли в найближчому оточенні відсутні органічні радикали або парамагнітні іони металів. За їх відсутності два паралельних спіна молекули O_2 значно перешкоджають реакційноздатності

кисню, незважаючи на його очевидну схильність спалювати й окиснювати все навколо. Будь-яке парамагнітне послаблення заборони обертання спіну може бути використане киснем для проникнення в органічну речовину та її окиснення. Багато ферментів розроблено природою для створення різних магнітних рельєфів, використовуючи особливі магнітні властивості молекули O₂ і активних форм кисню. В статті нами відмічена роль внутрішніх магнітних взаємодій, а саме – спін-орбітальної взаємодії, яка спостерігається в синглетному кисні [1, 4], супероксид радикалі [3, 12], оксиді азоту і в пероксинітрит аніоні, як найважливіших активних формах кисню та азоту.

Подяки. Робота виконана за підтримки Міністерства освіти і науки України (проект 0118U100401) та шведської фундації Веннера-Грена (проект GFU 2022-0036).

Список використаної літератури

1. Minaev B.F., Murugan N.A., Ågren, H. Dioxygen spectra and bioactivation. *International Journal of Quantum Chemistry*. 2013. Vol. 113(14). P. 1847–1867. <https://doi.org/10.1002/qua.24390>
2. Massey V. Activation of molecular oxygen by flavins and flavoproteins. *Journal of Biological Chemistry*. 1994. Vol. 269(36). P. 22459–22462. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(17\)31664-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(17)31664-2)
3. Minaev B.F. Spin effects in reductive activation of O₂ by oxidase enzymes. *RIKEN Review. Tokyo*. 2002. Vol. 44. P. 147–149.
4. Siegbahn P.E.M. Structures and Energetics for O₂ Formation in Photosystem II. *Accounts of Chemical Research*. 2009. Vol. 42(10). P. 1871–1880. <https://doi.org/10.1021/ar900117k>
5. Minaev B.F. How cofactor-free oxygenases can overcome spin prohibition in substrates oxygenation by dioxygen. *Chemical Physics*. 2019. Vol. 251(1). P. 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.chemphys.2019.01.021>.
6. Romero E., Castellanos J.R.Z., Gadda G., Fraaije M.W., Mattevi. A. Same Substrate, Many Reactions: Oxygen Activation in Flavoenzymes. *Chemical Reviews*. 2018. Vol. 118(4). P. 1742–1769. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00650>
7. Minaev B.F. *Magnetic torque inside the superoxide radical is the driving force for oxygen activation by dioxygenases*. Advances in Chemistry Research. Volume 75. Nova Science Publishers, Incorporated. 2022.
8. Mittler R. ROS are good. *Trends in Plant Science*. 2017. Vol. 22(1). P. 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.002>.
9. McCord J.M., Fridovich, I. Superoxide dismutase. An enzymic function for erythrocyte (hemocuprein). *Journal of Biological Chemistry*. 1969. Vol. 244. P. 6049–6055. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)63504-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)63504-5)
10. Minaev B. Photochemistry and spectroscopy of singlet oxygen in solvents. Recent advances which support the old theory. *Chemistry & Chemical Technology*. 2016. Vol. 10(4). P. 519–530.
11. Foot C. Mechanisms of Photosensitized Oxidation: There are several different types of photosensitized oxidation which may be important in biological systems. *Science*. 1968. Vol. 162. P. 963–970. <https://doi.org/10.1126/science.162.3857.963>
12. Minaev B.F., Panchenko A.A. Spin-catalysis of Unsaturated Substrates Oxidation by Cofactor-free Mono- and Di-oxygenases. How Triplet Oxygen Can Overcome Spin Prohibition. *Ukraine Journal of Medicine, Biology, and Sport*. 2019. Vol. 4(6). P. 329–343. <https://doi.org/10.26693/jmbs04.06.329>

References

1. Minaev, B.F., Murugan, N.A. & Ågren, H. (2013). Dioxygen spectra and bioactivation. *International Journal of Quantum Chemistry*, 113(14), 1847–1867. <https://doi.org/10.1002/qua.24390>
2. Massey, V. (1994). Activation of molecular oxygen by flavins and flavoproteins. *Journal of Biological Chemistry*, 269(36), 22459–22462. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(17\)31664-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(17)31664-2)
3. Minaev, B.F. (2002). Spin effects in reductive activation of O₂ by oxidase enzymes. *RIKEN Review. Tokyo*, 44, 147–149.
4. Siegbahn, P.E.M. (2009). Structures and Energetics for O₂ Formation in Photosystem II. *Accounts of Chemical Research*, 42(10), 1871–1880. <https://doi.org/10.1021/ar900117k>
5. Minaev, B.F. (2019). How cofactor-free oxygenases can overcome spin prohibition in substrates oxygenation by dioxygen. *Chemical Physics*, 251(1), 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.chemphys.2019.01.021>.
6. Romero, E., Castellanos, J.R.Z., Gadda, G., Fraaije, M.W. & Mattevi. A. (2018). Same Substrate, Many Reactions: Oxygen Activation in Flavoenzymes. *Chemical Reviews*, 118(4), 1742–1769. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00650>

7. Minaev, B.F. (2022). *Magnetic torque inside the superoxide radical is the driving force for oxygen activation by dioxygenases*. Advances in Chemistry Research. Volume 75. Nova Science Publishers, Incorporated.
8. Mittler, R. (2017). ROS are good. *Trends in Plant Science*, 22(1), 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.002>.
9. McCord, J.M. & Fridovich, I. (1969). Superoxide dismutase. An enzymic function for erythrocyte hemocuprein (hemocuprein). *Journal of Biological Chemistry*, 244, 6049–6055. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)63504-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)63504-5)
10. Minaev B. (2016) Photochemistry and spectroscopy of singlet oxygen in solvents. Recent advances which support the old theory. *Chemistry & Chemical Technology*, 10(4), 519–530.
11. Foot, C. (1968). Mechanisms of Photosensitized Oxidation: There are several different types of photosensitized oxidation which may be important in biological systems. *Science*, 162, 963–970. <https://doi.org/10.1126/science.162.3857.963>
12. Minaev, B.F. & Panchenko, A.A. (2019). Spin-catalysis of Unsaturated Substrates Oxidation by Cofactor-free Mono- and Di-oxygenases. How Triplet Oxygen Can Overcome Spin Prohibition. *Ukraine Journal of Medicine, Biology, and Sport*. 4(6), 329–343. <https://doi.org/10.26693/jmbs04.06.329>

Minaev B. F., Panchenko O. O., Reshetnyak O. V. SPIN MAGNETIC PROPERTIES OF OXYGEN AND ITS ACTIVE FREE RADICAL FORMS

Introduction and purpose of the study. Aerobic life is based on breathing oxygen from air. Unlike the vast majority of chemically stable substances, the O_2 molecule has two unpaired electrons with parallel spins. This means that it is a triplet biradical. These two unpaired electrons of the O_2 molecule mean that oxygen is a paramagnetic gas, while many other chemicals are diamagnetic, including almost all the organic stable components of a living cell, which consist of biopolymers and molecules (proteins, DNA, RNA, lipids, sugars, enzymes, FAD, NAD, etc.). This review describes spin-dependent essential features of the participation of oxygen and ROS in aerobic life.

Materials and methods: We investigated the complex processes of O_2 activation during respiration and many other redox processes, which depends on electron exchange and spin-orbit coupling.

Results of the study: Superoxide anion radical $O_2^{\cdot -}$ is the basis of many oxidative processes in mitochondria as an intermediate product, but can become a free radical as a result of "leakage" from the normal course of enzymatic reactions. The article shows that the causes of superoxide ion "leakage" are related to the action of internal magnetic forces inherent in molecular oxygen and similar structures of ROS ($O_2^{\cdot -}$, OH^{\cdot} , O_2H^{\cdot} , $\cdot NO$). We established that the "leakage" of electrons and superoxide in mitochondria, as well as the action mechanism of a number of oxidases and oxygenases, fundamentally depend on the spin-orbital coupling in the superoxide ion. We have shown how the spin-orbital coupling in ROS affects the course of important enzymatic processes in oxidases and oxygenases, which consist purely of proteins that do not even have a metal or organic cofactor. The discovery of the magnetic properties of a number of ROS, such as superoxide anion, peroxynitrite anion, nitric oxide explains a number of mysteries of modern enzymology and medicine

Conclusions: Triplet oxygen exhibits slow chemical reactivity when there are no organic radicals or paramagnetic metal ions in the immediate environment. In their absence, the two parallel spin molecules of O_2 significantly hinder the reactivity of oxygen, despite its obvious predisposition to burn and oxidize everything around it. Any paramagnetic relaxation of the spin prohibition can be used by oxygen to penetrate and oxidize organic matter. In the article, we noted the role of internal magnetic interactions, namely, spin-orbit coupling which is observed in singlet oxygen, superoxide radical, nitric oxide, and peroxynitrite anion, as the most important active forms of oxygen and nitrogen.

Keywords: triplet oxygen, singlet oxygen, superoxide ion, paramagnetism, myoglobin, hemoglobin, reactive oxygen species, effects of external magnetic field.

Одержано редакцією: 29.04.2024

Прийнято до публікації: 27.05.2024

УДК 612.821

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1 -141-149

Сергій Миколайович Хоменко

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

skhomenko@ukr.netORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0918-8735>**Максим Володимирович Лю**

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

clakky2016@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9970-2188>

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ РЕЗЕРВІВ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ПІДЛІТКІВ ТА ЮНАКІВ

Науково обґрунтовано та запропоновано новий спосіб діагностики та оцінки резервних можливостей серцево-судинної системи підлітків та юнаків. Дослідження варіації серцевого ритму (BCP) та хвильової структури серцевого ритмі (ХССР) телеметричним методом (пульсомет Polar m400 HR, Polar Oу, Фінляндія) за умов виконання ортостатичної проби за динамікою показників стрес-індексу (SI) та індексу симпто-вагального балансу (LF/HF) у юнаків та підлітків встановлені різні типологічні варіанти резервних можливостей регуляторних реакцій на серцевий ритм (CP). За динамікою показників SI та LF/HF у юнаків встановлені вищі фізіологічні резерви, а механізми регуляції автономної нервової системи (АНС) характеризувалися підвищеною активацією автономного контуру управління на пазухо-передсердний вузол серця та зниженим впливом вищих вегетативних центрів на підкірковий центр, ніж у підлітків. Кардіоінтервалографія є важливим і чутливим методом дослідження станів адаптації/деадаптації та резервних можливостей організму спортсменів. Для раннього розпізнавання неадекватних реакцій організму на тренувальні та змагальні навантаження необхідно впроваджувати в практику медичного контролю телеметричні методики дослідження функціонального стану та резервних можливостей серцево-судинної системи.

Ключові слова: юнаки, підлітки, варіабельність серцевого ритму, спектральна ритмографія, автономна нервова система, ортопроба, функціональні резерви.

Актуальність проблеми. Сучасний спорт вищих досягнень, неминуче пов'язаний з інтенсифікацією тренувального процесу та з значними фізичними навантаженнями. Суттєво, що і в олімпійському та професіональному спорті крайні фізичні навантаження, на межі функціональних можливостей людини можуть привести до гострого та хронічного фізичного перенапруження з негативними наслідками для здоров'я спортсмена [1, 2, 3, 4].

Ранньою ознакою зриву адаптації організму спортсмена служить порушення регуляторних механізмів автономної нервової системи у регуляції серцево-судинної системи, що може проявитися метаболічних та функціональних особливостях серця спортсмена внаслідок хронічного фізичного перенапруження. Проте, компенсаторні можливості організму дозволяють спортсмену не тільки тренуватися, але й поліпшувати спортивні результати. За даними [3, 5], аналіз регуляторних механізмів серцевого ритму у спортсменів дозволяє диференціювати характер порушень [6, 7, 8, 9].

Незважаючи на високі функціональні спроможності серцево-судинної системи спортсменів, крайні фізичні навантаження, що не відповідають можливостям організму, є ведучим етіологічним чинником виникнення порушень метаболізму міокарда [10, 11]. Важливе значення приділяється віковим особливостям формування фізіологічних резервів підлітків та юнаків за характеристиками кардіоінтервалографії [12, 13].

Удосконалення і методів дослідження дозволяє, з одного боку, виявляти позитивні зрушення, які виникають під впливом раціональних занять фізкультурою і спортом, а з другого - своєчасно діагностувати ряд граничних станів та патологічних змін [3, 7; 14].

Своєрідний стан організму спортсмена припускає особливості у виникненні проявів перебігу граничних та патологічних станів [15, 16].

З літератури відомо, що систематичні заняття фізичною культурою та спортом дітей, підлітків і юнаків здійснюють профілактичний вплив на розвиток патологічних станів та вносять корективи у формування фізіологічних резервів в онтогенезі. Слід підкреслити, що переважна більшість досліджень впливу систематичних занять фізичною культурою на фізіологічні резерви присвячені зрілому віку і пов'язані з трудовою діяльністю. Фізіологічні механізми, що забезпечують формування резервних можливостей в онтогенезі у дітей, підлітків та юнаків не досліджувались. Хоча відомо, що в ці вікові періоди відбуваються швидкі зміни у перебудові різних фізіологічних систем [17, 18, 19]. Дослідження, що проведені у осіб зрілого віку демонструють помилковість перенесення закономірностей та особливостей формування фізіологічних резервів дорослих людей на дітей, підлітків та юнаків. Тому виникає необхідність дослідити особливості формування резервних можливостей у підлітків і юнаків.

Припускаємо, що вікові закономірності та особливості формування фізіологічних резервів у підлітків, юнаків будуть супроводжуватись різними функціональними перебудовами та їх механізмами. Ось чому для біологічної науки вкрай важливо дослідити закономірності і особливості формування фізіологічних резервів у підлітків та юнаків.

Наявність відмінностей за показниками фізіологічних резервних можливостей може бути підставою для вирішення завдань диференційованого підходу до управління розумовою та спортивною діяльністю. У більшості наукових робіт відсутня вагома інформація та не з'ясовані теоретичні закономірності про характеристики і особливості фізіологічних резервних можливостей у підлітків та юнаків. Це свідчить про існування протиріччя між необхідністю здійснювати диференційований підхід до вдосконалення фізичної та розумової працездатності з урахуванням фізіологічних механізмів формування резервних можливостей серцево-судинної системи. Вказані проблеми визначили актуальність даної роботи.

Припустили, що процес формування фізіологічних резервів у підлітків та юнаків може мати закономірності у залежності від вікових особливостей обстежуваних.

Мета дослідження: Мета роботи – з'ясувати особливості формування фізіологічних резервів та регуляторних механізмів серцево-судинної системи у підлітків та юнаків за показниками варіаційної та спектральної кардіоінтервалографії.

Матеріали і методи дослідження. Відомо, що стан здоров'я та хвороба значною мірою визначається рівнем функціонування, якістю регуляторних механізмів та станом резервних можливостей організму [3, 8, 16]. Одним з неінвазивних і надійних методів оцінки стану резервних можливостей та регуляторних механізмів є технологія ВСП та ХССР за якою можна досліджувати функціональний стану серцево-судинної системи [20, 21, 22]. Широке застосування ВСП та ХССР знайшла і у спортивній медицині та фізіології праці та спорту [23; 24]. Але, адаптація організму спортсмена до тренувальних і змагальних фізичних навантажень і збереження здоров'я вимагають постійного напруження резервних можливостей та регуляторних механізмів [2, 8]. Останні повинні забезпечити оптимальне пристосування організму спортсмена до значних фізичних навантажень за умови мінімального напруження регуляторних механізмів [8]. Основними фізіологічними механізмами оптимального пристосування організму до умов спортивної діяльності є процеси економізації і мобілізації, які визначають ефективність підготовки спортсмена і у повній мірі відображаються у характеристиках ВСП та ХССР [8].

Керуючись принципами біомедицинської етики та на підставі інформаційної згоди у 35 підлітків $12,6 \pm 0,2$ років (стаж занять $4,2 \pm 0,2$ років) та 37 юнаків $18,7 \pm 0,2$ років (стаж занять $6,2 \pm 0,2$ років) реєстрували статистичні, варіаційні показники варіабельності серцевого ритму (ВСП) та здійснювали спектральний аналіз хвильової структури серцевого ритму (ХССР). З використанням телеметричної апаратури (пульсометрів Polar m400 HR, Polar O_u, Фінляндія) у стані спокою визначали показники ВСП та ХССР [20], реєстрували частоту серцевих скорочень (HR, уд/хв.), визначали статистичні і варіаційні показники SDNN мс, AMo% та SI, у.о. Також визначали загальну потужність спектру частот (TP, мс²), високочастотний

0,15–0,4 Гц (HF, мс²), низькочастотний в діапазоні 0,04–0,15 Гц (LF, мс²) та наднизькочастотний компонент спектру CP в діапазоні 0,003–0,04 Гц (VLF, мс²). Окрім цього, розраховували відсотковий внесок кожного із частотних компонентів спектру у TP (HF, LF та VLF%) та показник індексу централізації (IC%), як відношення VLF% + LF% / HF% [20, 24].

Показники ВСР реєструвалися вранці, натщесерце у положенні лежачи після 10-хвилинної адаптації до умов реєстрації. Як фонові показники використовували результати останніх 5 хв запису. Надалі запис кардіоінтервалів проводили у положенні стоячи (6 хв.) для аналізу брали показники останніх 5 хв. Аналіз кожного показника ВСР проводили у відповідності до сучасних уявлень про роль симпатичного та парасимпатичного відділу АНС, підкоркового центру серцево-судинної системи та більш в високого рівня управління фізіологічними функціями [25, 26].

Статистичний аналіз даних проводився за допомогою програми Statistica 64, v12. Перевірку на нормальність розподілу даних проводили з використанням критерію Шапіро-Уїлкі. Достовірність різниць між вибірками, дані яких не потрапляли під закон нормального розподілу визначали з використанням критеріїв Уїлкоксона та Манна-Уїтні. Значимість вірогідних значень приймалась на рівні $p < 0,05$.

Результати дослідження та їх обговорення. Дослідження ВСР та ХССР у юнаків за умови виконання ортостатичної проби дозволяє дати більш детальну оцінку функціональному стану серцево-судинної системи, регуляторним та резервним можливостям організму футболістів. Аналіз показників ВСР проводили у відповідності до сучасних уявлень про участь симпатичного та парасимпатичного відділу, а також підкоркового центру серцево-судинної системи та більш високого рівня управління фізіологічними функціями [20]. Це відкриває нові діагностичні можливості для контролю і управління функціональним станом, регуляції адаптивними реакціями, резервними можливостями організму та своєчасної оцінки несприятливих змін в організмі спортсмена.

Характеристика спортсменів показала, що середній вік юнаків становив $18,7 \pm 0,2$ років (стаж занять $6,2 \pm 0,2$ років), а підлітків $12,6 \pm 0,2$ років (стаж занять $4,2 \pm 0,2$ років). За даними ВСР медіана ЧСС у юнаків була 62,2 [58; 66] уд/хв., а у підлітків - 75,7 [67; 85] уд/хв. У всіх спортсменів у положенні лежачи переважала парасимпатична ланка автономної нервової системи (АНС), що підтверджують значення індексу LF/HF. У юнаків показник LF/HF становив 0,62 [0,5; 0,8] у.о., а у підлітків - 0,95 [0,8; 1,2] у.о. Результати дослідження ВСР та ХССР спортсменів юнаків та підлітків під час виконання ортопроби представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати (Me [25%;75%]) варіаційних та спектральних характеристик серцевого ритму у юнаків (n = 23) та підлітків (n = 23) при виконанні ортостатичної проби

Досліджувані показники		RR, Mc	HR, уд·хв ⁻¹	SDNN, мс	SI, н.о.	TP, мс ²	LF/HF у.о.
Юнаки	Лежачи	967,9 [1029; 1193]	62,2 [58; 66]	74,3 [67; 89]	55,5 [31; 58]	5393,4 [4929; 7336]	0,62 [0,5; 0,8]
	Стоячи	682,4 [829; 914]	88,1 [76; 92]	54,9 [39; 63]	158,1 [98; 194]	3010,7 [2399; 3782]	5,14 [4,3; 6,3]
	% P	+29 0,004	+42 0,003	-26 0,016	+187 0,017	-54 0,016	+729 0,008
Підлітки	Лежачи	789,4 [929; 893]	75,7 [67; 85]	70,9 [63; 89]	73,7 [61; 88]	4268,7 [3919; 5736]	0,95 [0,8; 1,2]
	Стоячи	612,4 [529; 714]	98,5 [76; 107]	47,5 [39; 53]	170,8 [108; 204]	2985,5 [1899; 3298]	2,9 [2,1; 4,8]
	% P	-23 0,006	+29 0,007	-44 0,026	+129 0,013	-30 0,014	+204 0,028

У дослідженні підлітків та юнаків виявили значну індивідуальну варіативність показників ВСР. Наприклад, показник SI коливався в межах від 22 до 137 н.о., а LF/HF – 0,9 - 8.6 н.о. Перш за все, необхідно відмітити, що показники SI та LF/HF у наших обстежуваних були значно нижчі, ніж у здорових осіб, які запропонував Nunan та ін. [23]. В іншій роботі показано, що ваготонія може відбивати зниження реакції на емоційні стимули [5]. Та не дивлячись на те, що діагностичні можливості SI та LF/HF ще обговорюються було встановлено їх сильний зв'язок із захворюваннями серцево-судинної системи це дало нам підстави розділити обстежуваних за цими показниками на типологічні групи [20].

Крім того, враховуючи теоретичні уявлення [21] про наявність центрального та автономного контуру в управлінні механізмами регуляції резервними можливостями серцево-судинної системи, а також те, що SI та LF/HF виявилися найбільш лабільними на пробу ортостазу ми за цими показниками виділили типи регуляції (табл. 2).

Таблиця 2

Кількісні та якісні характеристики при виконанні ортопроби

№ п/п	Тип регуляції	Функціональна характеристика	SI		LF/HF	
			лежачи	стоячи	лежачи	стоячи
1	Виражений центральний	Виражена активація центрального контуру та симпато-адреналової ланки АНС.	>101	>106	>2,5	>7,6
2	Помірний центральний	Помірна активація центрального контуру та симпато-адреналової ланки АНС.	81-100	91–105	1,9–2,4	5,6–7,5
3	Оптимальний	Баланс активності автономного та центрального контуру, симпато-вагальної ланок регуляції АНС.	60–80	75-90	1,2–1,8	3,6–5,5
4	Помірний автономний	Помірна активація автономного контуру та парасимпатичної ланки регуляції АНС.	40–59	50 -74	0,6-1,1	1,6–3,5
5	Виражений автономний	Виражена активація автономного контуру та парасимпатичної ланки регуляції АНС.	<39	<49	<0,5	<1,5

Виходили з того, що SI характеризує ступінь балансу, або домінування автономних/центрального механізмів регуляції фізіологічними резервами, а показник LF/HF – надає перевагу активності симпатичного над парасимпатичним відділом АНС [20] ми запропонували до оптимального типу регуляції віднести значення SI в межах 60-80, а LF/HF - 1,2-1,8. Це свідчить про те, що при виконанні ортопроби у регуляції резервними можливостями спостерігався баланс активності автономного та центрального контуру управління СР, а також ваго-симпатичної взаємодії АНС. Помірна активація автономного контуру та перевага парасимпатичної ланки регуляції АНС відповідала значенням SI в межах 40-59, а LF/HF дорівнювала 0,6–1,1. В разі зниження SI до 39, а LF/HF до 0,5 і менше такі зміни ми вважали, як виражену активацію автономного контуру та парасимпатичної ланки регуляції АНС. У разі підвищення SI до 81–100, а LF/HF до 1,2–1,8 ми вважали як помірну активацію центрального контуру управління та симпато-адреналової ланки АНС. Особи, у яких при виконанні ортопроби спостерігали виражену активацію центрального контуру управління та симпато-адреналової ланки АНС, а значення SI більше, ніж 101 і співвідношення LF/HF більше, ніж 1,8 були віднесені до вираженого центрального типу регуляції резервними можливостями серцево-судинної системи.

Запропонована класифікація типів регуляції СР дозволяє провести фізіологічну оцінку резервних можливостей серцево-судинної системи за кількісними та якісними характеристиками реакції кардіоінтервалографії на ортопробу у групах підлітків та юнаків (табл. 3 та рис. 1).

Таблиця 3
Розподіл обстежуваних (%) підлітків та юнаків на типи регуляції серцевого ритму за умови виконання ортопроби

Типи регуляції	Підлітки		Юнаки	
	лежачи	стоячи	Лежачи	Стоячи
Виражений центральний	7	5	3	1
Помірний центральний	24	21	17	12
Оптимальний	35	35	38	41
Помірний автономний	24	27	29	30
Виражений автономний	10	12	13	16

Розподіл обстежуваних на типи регуляції показав, що у 30% юнаків при виконанні ортопроби резервні можливості серцево-судинної системи характеризувалися помірною активацією автономних, а для 41% обстежуваних виявили оптимальне співвідношення автономних і центральних механізмів регуляції. На думку Ільїна В.М. та Коробейнікова, Г.В. в разі переваги автономних механізмів регуляції у силу високих резервних можливостей та їх пластичності полегшується пристосування до умов середовища та життєдіяльності [9, 17]. У 16% юнаків встановили виражену перевагу автономних механізмів регуляції СР. Тоді як 5% підлітків мали резервні можливості серцево-судинної системи з вираженим, а 21% помірним домінуванням центральних механізмів регуляції. У 35% підлітків встановлено оптимальний, тип регуляції резервних можливостей серцево-судинної системи, що значно нижче, ніж у юнаків. Резервні можливості підлітків з домінуванням помірної (27%) та вираженої активації (12%) автономних механізмів регуляції СР характеризувався низькими значеннями SI і LF/HF. Функціональні резерви 5% підлітків з вираженою активацією центральних механізмів регуляції СР під час виконання ортопроби характеризувалися високими значеннями SI та LF/HF, що свідчило про дезрегуляцію механізмів регуляції (рис.1).

Отже, результати які ми отримали вказують на високі діагностичні можливості телеметричних систем щодо виявлення особливостей формування фізіологічних резервів та регуляторних механізмів серцево-судинної системи у підлітків та юнаків за показниками варіаційної та спектральної кардіоінтервалографії. Виділення підлітків та юнаків в окремі індивідуальні групи за типами регуляції адаптивних реакцій можуть бути використані у практичній діяльності лікаря з метою оцінки адаптивного резерву обстежуваних.

В роботі, яка опублікована Shaffer F. и Ginsberg, J. P. згадується, що більш високий рівень SI та LF/HF пов'язують з патологічними станами та зі смертністю [15]. Лікарі та тренерські колективи у здійсненні медичної експертизи за станом адаптаційних процесів футболістів команди повинні надавати телеметричному контролю за показниками ВСР належну увагу. Телепульсометрія є інформативним та чутливим індикатором станів адаптації/дезаптації. Дана методика може бути рекомендованим для здійснення медичного контролю спортсменів, оцінки стану їх резервних можливостей, ризиків серцево-судинних розладів та хвороби. Таким критеріям, за результатами нашої роботи, відповідають SI та LF/HF за умови виконання ортостатичної проби, які є надійними маркерами дослідження й оцінки резервних можливостей обстежуваних.

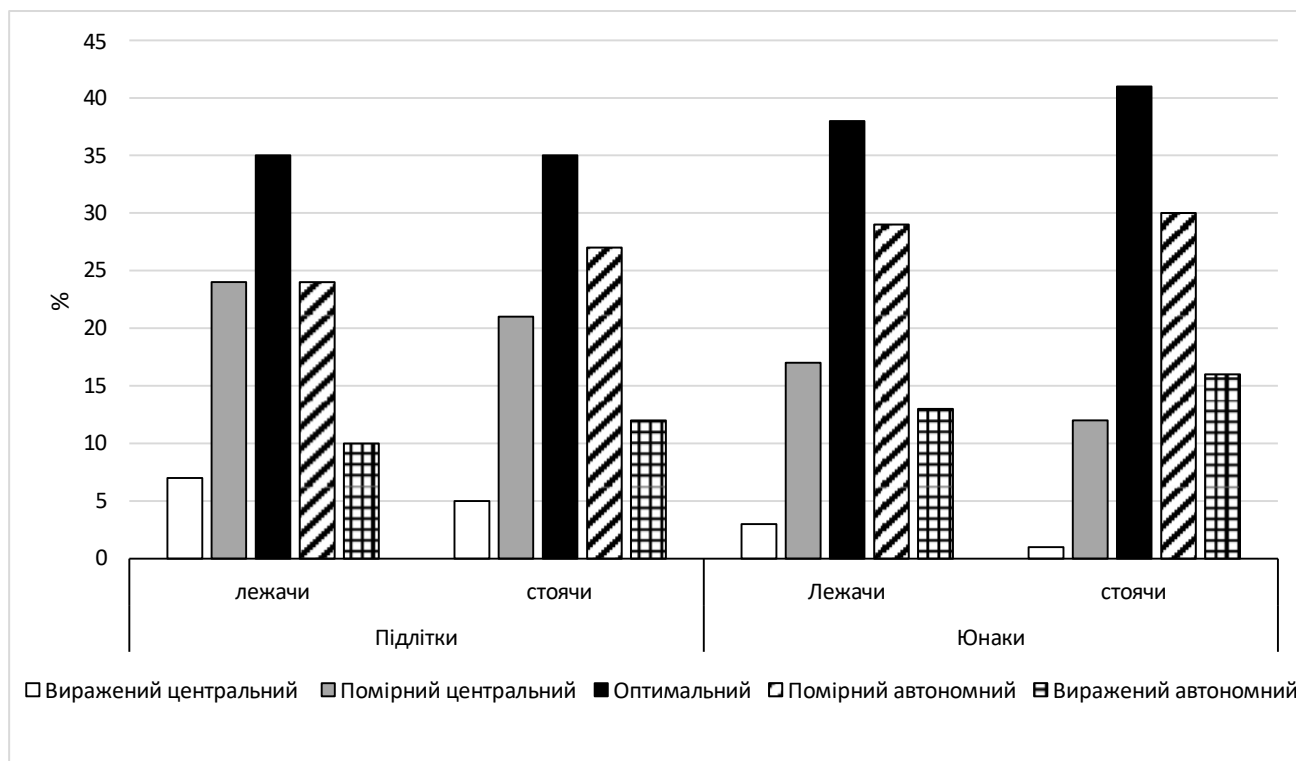


Рис. 1. Розподіл обстежуваних підлітків та юнаків на типи регуляції за показниками реакції кардіоінтервалографії на ортопробу.

Висновки:

1. При виконанні ортопроби за динамікою показників стрес-індексу та симпато-вагального балансу у юнаків встановлені вищі фізіологічні резерви, а механізми регуляції автономної нервової системи (АНС) характеризувалися підвищеною активацією автономного контуру управління на пазухо-передсердний вузол серця та зниженим впливом вищих вегетативних центрів на підкірковий центр, ніж у підлітків.

2. При виконанні ортопроби за динамікою показників стрес-індексу (SI) та індексу симпато-вагального балансу (LF/HF) у юнаків та підлітків встановлені різні типологічні варіанти резервних можливостей регуляторних реакцій на серцевий ритм (СР).

3. Обстежувані з домінуванням помірної та вираженої активації автономних механізмів регуляції СР характеризувалися низькими значеннями SI і LF/HF.

4. Обстежувані, які були віднесені до групи з помірною та вираженою активацією центральних механізмів регуляції СР характеризувалися високими значеннями SI і LF/HF та нижчими показниками резервних можливостей. У них частіше під час виконання ортопроби виявлялись парадоксальні реакції ВСР та дезрегуляція адаптаційних механізмів і ризик захворювань.

Список використаної літератури

1. Григорян, Р., & Сагач, В. (2017). Концепція фізіологічних суперсистем: Нова фаза інтегративної фізіології. *Фізіологічний журнал*, 63(3), 58–67.
2. Уилмор, Дж., & Костилл, Д. (2001). *Физиология спорта и двигательной активности: Учеб. пособие*. Олимпийская литература.
3. Апанасенко, Г., & Козакевич, В. (2004). Оцінка фізичного здоров'я дітей і підлітків. *Медицинский всесвіт*, 4(1), 94–106.
4. Платонов, В. (2021). *Сучасна система спортивного тренування*. Перша друкарня. 672 с.
5. Дорофеева, О. (2016). Комплексна оцінка та корекція функціонального стану і резервних можливостей організму спортсменів. *Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія*, (2), 25–30.
6. Коваленко, С. О., & Кудій, Л. І. (2016). *Варіабельність серцевого ритму: Метод. аспекти*. ЧНУ ім. Б. Хмельницького. 298 с.

7. Корнєєва, І., & Поляков, С. (2002). Ортостатичне тестування в оцінці функціональної готовності юних спортсменів. *Теорія та практика фізичної культури*, (2), 9–12.
8. Міщенко, В. С., Коробейнікова, Л. Г., & Коробейніков, Г. В. (2017). Психофізіологічний стан висококваліфікованих спортсменів з різним рівнем нейродинамічних функцій. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*, (2), 45–53.
9. Korobeynikov, G., Korobeynikova, L., Potop, V., Nikonorov, D., Semenenko, V., Dakal, N., & Mischuk, D. (2018). Heart rate variability system in elite athletes with different levels of stress resistance. *Journal of Physical Education and Sport*, (79), 550–554.
10. Nelson, R. J. (2005). *Biology of Aggression*. Oxford University Press. 451 p.
11. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). *An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms*. *Frontiers in Public Health*.
12. Nunan, D., Sandercock, G. R., & Brodie, D. A. (2010). *A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults*. *Pacing Clin Electrophysiol*.
13. Samokish, I., Bosenko, A., Pryimakov, O., & Biletskaya, V. (2017). Monitoring system of functional ability of university students in the process of physical education. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 17(1), 73–78.
14. Serra-Grima, R., Carrió, M., Subirana, M., Bernà, L., & Prat, T. (2000). Marked ventricular repolarization abnormalities in highly trained athletes' electrocardiograms: Clinical and prognostic implications. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 36(4), 1310–1316.
15. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). *An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms*. *Frontiers in Public Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
16. Яблучанский, Н. И., & Мартыненко, А. В. (2010). *Вариабельность сердечного ритма в помощь практическому врачу*. Для настоящих врачей. <https://core.ac.uk/download/pdf/46586473.pdf>
17. Pyin, V. N., Filippov, M. M., & Sosnovskiy, V. V. (2017). Ttraining of the athletes with use of hypoxic conditions. *Вісник Черкаського університету, серія «Біологічні науки»*, (2), 11–26.
18. Сосновський, В. В., Пастухова, В. А., Філіпов, М. М., & Ільїн, В. М. (2018). Аналіз спектрів потужності варіабельності серцевого ритму у спортсменів під час початкової адаптації до умов гірської гіпоксії. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, 4(186), 42–44.
19. Mikhalyuk, E. L., Didenko, M. V., & Malakhova, S. M. (2014). Features of autonomic regulation of heart rate, central hemodynamics and physical performance in Short-distance runners. *Zaporozhye Medical Journal*, (2). <https://doi.org/10.14739/2310-1210.2014.2.25430>
20. Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J., & Schwartz, P. J. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>
21. West, B. J., & Turalska, M. (2019). Hypothetical Control of Heart Rate Variability. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01078>
22. Босенко, А. І., Борщенко, В. В., Топчій, М. С., & Шавініна, А. О. (2017). Стан механізму регуляції кардіоритму у дівчат 7-16 років протягом навчання в школі. *Вісник проблем біології і медицини*, 2(136), 359–401.
23. Nunan, D., Sandercock, G. R. H., & Brodie, D. A. (2010). A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 33(11), 1407–1417. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x>
24. Lehrer, P. M., & Gevirtz, R. (2014). Heart rate variability biofeedback: How and why does it work? *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00756>
25. Perrotta, A. S., Jeklin, A. T., Hives, B. A., Meanwell, L. E., & Warburton, D. E. R. (2017). Validity of the elite HRV smartphone application for examining heart rate variability in a field-based setting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(8), 2296–2302. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001841>
26. Hamaideh, S. H., Al-Omari, H., & Al-Modallal, H. (2016). Nursing students' perceived stress and coping behaviors in clinical training in Saudi Arabia. *Journal of Mental Health*, 26(3), 197–203. <https://doi.org/10.3109/09638237.2016.1139067>

References

1. Grigoryan, R., & Sagach, V. (2017). The concept of physiological supersystems: A new phase of integrative physiology. *Physiological Journal.*, 63(3), 58–67. (in Ukr)

2. Wilmore, J., & Costill, D. (2001). *Physiology of sport and motor performance: A textbook*. Olympic Literature. (in Rus).
3. Apanasenko, G., & Kozakevych, V. (2004). Assessment of physical health of children and adolescents. *Medical universe*, 4(1), 94–106. (in Ukr)
4. Platonov, V. (2021). *Modern system of sports training*. First printing house. 672 p. (in Ukr)
5. Dorofeeva, O. (2016). Comprehensive assessment and correction of the functional state and reserve capacities of the athletes' body. *Sports medicine, physical therapy and ergotherapy*, (2), 25-30. (in Ukr)
6. Kovalenko, S. O., & Kudiy, L. I. (2016). *Heart rate variability: Methodological aspects*. Khmelnytsky National University. 298 p. (in Ukr)
7. Korneeva, I., & Polyakov, S. (2002). Orthostatic testing in the assessment of functional readiness of young athletes. *Theory and practice of physical culture*, (2), 9-12. (in Ukr)
8. Mishchenko, V. S., Korobeynikova, L. G., & Korobeynikov, G. V. (2017). Psychophysiological state of highly skilled athletes with different levels of neurodynamic functions. *Bulletin of Cherkasy University. Series: Biological sciences*, (2), 45-53. (in Ukr)
9. Korobeynikov, G., Korobeynikova, L., Potop, V., Nikonorov, D., Semenenko, V., Dakal, N., & Mischuk, D. (2018). Heart rate variability system in elite athletes with different levels of stress resistance. *Journal of Physical Education and Sport*, (79), 550–554.
10. Nelson, R. J. (2005). *Biology of Aggression*. Oxford University Press. 451 p.
11. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). *An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms*. *Frontiers in Public Health*.
12. Nunan, D., Sandercock, G. R., & Brodie, D. A. (2010). *A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults*. *Pacing Clin Electrophysiol*.
13. Samokish, I., Bosenko, A., Pryimakov, O., & Biletskaya, V. (2017). Monitoring system of functional ability of university students in the process of physical education. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 17(1), 73–78.
14. Serra-Grima, R., Carrió, M., Subirana, M., Bernà, L., & Prat, T. (2000). Marked ventricular repolarization abnormalities in highly trained athletes' electrocardiograms: Clinical and prognostic implications. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 36(4), 1310–1316.
15. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). *An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms*. *Frontiers in Public Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
16. Yabluchansky, N. I., & Martynenko, A. V. (2010). Heart rate variability to help the practical doctor. For real doctors. <https://core.ac.uk/download/pdf/46586473.pdf> (in Rus)
17. Ilyin, V. N., Filippov, M. M., & Sosnovskiy, V. V. (2017). Training of the athletes with the use of hypoxic conditions. *Bulletin of Cherkasy University, series "Biological Sciences"*, (2), 11-26.
18. Sosnovskiy, V. V., Pastukhova, V. A., Filippov, M. M., & Ilyin, V. M. (2018). Analysis of power spectra of heart rate variability in athletes during initial adaptation to mountain hypoxia. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, 4(186), 42-44. (in Ukr)
19. Mikhalyuk, E. L., Didenko, M. V., & Malakhova, S. M. (2014). Features of autonomic regulation of heart rate, central hemodynamics and physical performance in Short-distance runners. *Zaporozhye Medical Journal*, (2). <https://doi.org/10.14739/2310-1210.2014.2.25430>
20. Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J., & Schwartz, P. J. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>
21. West, B. J., & Turalska, M. (2019). Hypothetical Control of Heart Rate Variability. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01078>
22. Bosenko, A. I., Borshchenko, V. V., Topchiiy, M. S., & Shavinina, A. O. (2017). The state of the mechanism of cardiac rhythm regulation in girls aged 7-16 years during school. *Bulletin of problems of biology and medicine*, 2(136), 359-401. (in Ukr)
23. Nunan, D., Sandercock, G. R. H., & Brodie, D. A. (2010). A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 33(11), 1407–1417. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x>
24. Lehrer, P. M., & Gevirtz, R. (2014). Heart rate variability biofeedback: How and why does it work? *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00756>

25. Perrotta, A. S., Jeklin, A. T., Hives, B. A., Meanwell, L. E., & Warburton, D. E. R. (2017). Validity of the elite HRV smartphone application for examining heart rate variability in a field-based setting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(8), 2296–2302. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001841>
26. Hamaideh, S. H., Al-Omari, H., & Al-Modallal, H. (2016). Nursing students' perceived stress and coping behaviors in clinical training in Saudi Arabia. *Journal of Mental Health*, 26(3), 197–203. <https://doi.org/10.3109/09638237.2016.1139067>

Khomenko S.M., Liu M.V. PECULIARITIES OF FORMATION OF FUNCTIONAL RESERVES OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM OF ADOLESCENTS AND YOUNG MEN

The aim of the study is to find out the peculiarities of the formation of physiological reserves and regulatory mechanisms of the cardiovascular system in adolescents and young men by the indicators of variation and spectral cardiac intervalography.

The orthostatic test in the studied adolescents and young men resulted in statistically significant changes in HRV parameters. In the standing position, R-R, SDNN, TP indices statistically significantly decreased, and HR, SI and LF/HF increased compared to the values recorded in the horizontal position. In young men, changes in HRV and HRVC during the orthotest were significantly higher than in adolescents. Thus, in adolescents, there was a statistically significant increase in HR, SI and LF/HF, respectively, by 23%, 129% and 204%. In young men, this response was more pronounced and corresponded to 29%, 187% and 720%.

In the study of adolescents and young men, significant individual variability in HRV indices was found. SI ranged from 22 to 137 conventional units, and LF/HF from 0.9 to 8.6 conventional units.

Moderate activation of the autonomic circuit and the predominance of the parasympathetic link of the autonomic nervous system regulation corresponded to SI values in the range of 40-59, and LF/HF was 0.6-1.1. In case of SI decrease to 39 and LF/NF to 0.5 and less, such changes indicated a pronounced activation of the autonomic circuit and the parasympathetic link of the autonomic nervous system regulation. An increase in SI to 81-100 and LF/HF to 1.2-1.8 indicated a moderate activation of the central control circuit and the sympathetic-adrenal link of the autonomic nervous system. Persons with a pronounced activation of the central control circuit and the sympathetic-adrenal link of the autonomic nervous system, and a SI value of more than 101 and an LF/HF ratio of more than 1.8 were attributed to a pronounced central type of regulation by the reserve capacity of the cardiovascular system.

The division of the subjects into types of regulation showed that in 30% of young men during the orthotest, the reserve capabilities of the cardiovascular system were characterised by moderate activation of autonomic mechanisms, and for 41% of the subjects, the optimal ratio of autonomic and central regulatory mechanisms was found.

A pronounced predominance of autonomic mechanisms of HR regulation was found in 16% of young men. Whereas 5% of adolescents had reserve capacities of the cardiovascular system with a pronounced and 21% moderate dominance of central regulation mechanisms. In 35% of adolescents, the optimal type of regulation of cardiovascular reserve capacity was established, which is significantly lower than in young men. The reserve capacity of adolescents with the dominance of moderate (27%) and pronounced activation (12%) of autonomous mechanisms of HR regulation was characterised by low values of SI and LF/HF. Functional reserves of 5% of adolescents with marked activation of central mechanisms of HR regulation during the orthotest were characterised by high values of SI and LF/HF, which indicated dysregulation of the regulatory mechanisms.

Thus, the results obtained indicate high diagnostic capabilities of telemetry systems for identifying the peculiarities of the formation of physiological reserves and regulatory mechanisms of the cardiovascular system in adolescents and young men by the indicators of variation and spectral cardiac intervalography. The allocation of adolescents and young men into separate individual groups according to the types of regulation of adaptive reactions can be used in the practical activity of a doctor to assess the adaptive reserve of the examined.

Key words: *young men, adolescents, heart rate variability, spectral rhythmography, autonomic nervous system, orthoprobe, functional reserves.*

Одержано редакцією: 13.04.2024

Прийнято до публікації: 22.05.2024

УДК 612.13

DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-150-156

Роман Анатолійович Циганник

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
roma.tsygannyk@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7955-7343>

Станіслав Олександрович Коваленко

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
kovstas@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4631-0464>

ЗМІНИ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ У СПОРТСМЕНІВ ПРИ ГРАДУАЛЬНІЙ ПАСИВНІЙ ОРТОПРОБІ

Вимірювання артеріального тиску, серцевого ритму, викиду, показників фаз систоли серця здійснювали при градуальній (15°, 30°, 45°, 60°) пасивній ортопробі на 17 спортсменах та 17 неспортсменах віком 18-25 років. Виявлено, що фонові відмінності у тривалості інтервалу RR, ударного об'єму крові між спортсменами та неспортсменами нівелюються при тривалому знаходженні в положенні 60°. При цьому для діастолічного артеріального тиску, такі відмінності стають вірогідними з більшими значеннями у спортсменів. Для показників кардіодинаміки відмінності між групами з'являються при навантаженні 30°-40° та нівелюються на наступних етапах тесту. Аналіз реактивності показників гемодинаміки на 20-й хвилині знаходження вимірюваних у положенні 60° показав, що Так спортсмени мали більше зниження тривалості інтервалу RR, ударного та серцевого індексу, об'ємної швидкості викиду та підвищення АТдіаст ніж не спортсмени. Такі зміни вказують на більше напруження серцево-судинної системи у них. При поверненні вимірюваних в горизонтальне положення у не спортсменів зареєстрована більш висока реактивність ударного та серцевого індексу, об'ємної швидкості викиду ніж у спортсменів. Поряд з цим показники кардіодинаміки у них відновлювались в меншому ступені ніж у спортсменів.

Ключові слова: *центральна гемодинаміка, атлети, ММА, фізична активність, адаптація, пасивна ортопроба*

Постановка питання. Дослідження особливостей адаптації спортсменів до систематичних фізичних тренувань включає оцінку стану їх організму як в спокої так і реактивності різних систем на стандартизовані навантаження. Визначення таких змін у атлетів дозволяє об'єктивно оцінити та коригувати їх функціональний стан. Робота виконана у межах теми «Індивідуальні особливості змін центральної та периферійної гемодинаміки при різних впливах» (№ держреєстрації 0122U201052).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значна кількість публікацій присвячена змінам при цьому біохімічних [1], психофізіологічних [2], гемодинамічних [3] показників. В сучасній науковій літературі широко відображені дослідження впливу на серцево-судинну систему активної ортопроби, виконаних в вимірюваннях на різних контингентах здорових осіб [4]. Також велика кількість публікацій присвячена впливу тілт-тесту на гемодинаміку у осіб з вегетативними порушеннями [5, 6, 7, 8, 9]. Представлені дані, щодо змін у центральній та периферійній гемодинаміці у спортсменів під час ортопроби [10, 11]. Втім вимірювань зрушень у серцево-судинній системі спортсменів при пасивній градуальній ортопробі проведено не було.

Мета. З'ясувати зміни центральної гемодинаміки у спортсменів при виконанні пасивної градуальної ортопроби.

Огляд основного матеріалу дослідження. Вимірювання здійснювали на 34 чоловіках віком 18-25 років – з дотриманням основних біоетичних положень Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (від 04.04.1997 р.), Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1994-2008 рр.), а також наказу МОЗ України № 690 від 23 вересня 2009 року.

Всі вони за даними медичного обстеження були здорові, не мали гострих та хронічних захворювань.

Група спортсменів (I, n=17) складалась з представників наступних видів: єдиноборці (ММА, бокс, боротьба, n=8), легка атлетика (біг 400 м, n=4), веслування на байдарках і каное (n=5). Всі спортсмени мали розряд кандидат в майстри спорту чи майстер спорту, регулярно тренувались не менше 5 раз на тиждень з тривалістю кожного заняття від 1 до 3 годин. Контрольну групу (II, n=17) склали чоловіки такого ж віку, що не займались регулярними фізичними тренуваннями.

Спочатку на кінцівки та грудну клітку обстежуваного накладали реографічні та електрокардіографічні електроди, манжету для вимірювання артеріального тиску. Після відпочинку в положенні лежачи горизонтально на ортостатичному столі упродовж 5-10 хвилин вимірювали показники гемодинаміки гемодинаміки. Вимірювання повторювали на 5-й хвилині після нахилу на 15°, 30°, 45°, 60° та на 20-й хвилині при нахилі 60°, через 5 хвилин після повернення у горизонтальне положення.

Систолічний (АТ_{сис}) та діастолічний (АТ_{діаст}) артеріальний тиск вимірювали за допомогою тонометра Короткова (Reiker, Germany). Середній артеріальний тиск розраховували за формулою Хікема. Для оцінки гемодинамічних показників використовували трансоракальну тетраполярну імпедансну реоплетизмографію. Реоплетизмограму грудної клітки реєстрували на реографі ХАІ-medica standard (ХАІ-medica, Харків, Україна). За сигналами диференційованої реограми грудної клітки та електрокардіограми в програмі цього розробника розраховували наступні показники центральної гемодинаміки.

Тривалість інтервалу RR (t-RR) – відстань між найвищими ділянками зібців R сусідніх кардіоінтервалів. Ударний індекс (УІ) знаходили шляхом поділу ударного об'єму крові на площу поверхні тіла. Ударний об'єм розраховували за методом Kubicek [12].

Серцевий індекс (СІ) знаходили шляхом поділу хвилинного об'єму крові на площу поверхні тіла.

З показників кардіодинаміки оцінювали наступні: тривалість фази вигнання (Т_{вигн}), тривалість фази напруження (Т_{напр}), об'ємну швидкість серцевого викиду (ОШВ).

Крім цього розраховували рівень кровонаповнення органів грудної клітки (КН) як відношення квадрату відстані між грудними електродами реографа до квадрату електричного опору грудної клітки.

Статистичний аналіз даних здійснювали за допомогою таблиць Excel-2003 та програми Statistica for Windows 12 (Statsoft Inc., Tulsa, USA), Polar Protrainer 5.0 (Polar ElectroOY, Finland). Застосовували метод однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA). Перевірку нормальності розподілу досліджуваних показників проводили за критерієм χ^2 . Для параметричної статистики розраховували середнє арифметичне (M), стандартну похибку вибіркового середнього (m). Вірогідність відмінностей оцінювали за F-критерієм Fisher.

Результати та їх обговорення. Фонові рівні показників центральної гемодинаміки в обстежуваних групах характеризувались наступним (табл. 1). Спортсмени мали вірогідно вищий рівень тривалості інтервалу RR, УІ, ОШВ та кровонаповнення у порівнянні з неспортсменами.

Таблиця 1

Рівні показників центральної гемодинаміки у спортсменів високого класу (n=17)
та у молодих здорових чоловіків (n=17) у стані спокою лежачи

Показники	Спортсмени	Неспортсмени
t-RR, мс	1,008±0,033	0,915±0,039*
АТ _{діаст} , мм рт,ст,	76,18±1,18	77,35±1,87
УІ, мл/м ²	42,73±3,86	33,93±3,72*

Продовження таблиці 1

СІ, л/м ² ·хв	2,63±0,27	2,24±0,32
T _{вигн} , мс	0,267±0,011	0,271±0,006
T _{напр} , мс	0,125±0,005	0,124±0,004
ІНМ, %	32,09±1,26	31,47±0,98
ОШВ, мл/сек	282,83±27,63	219,10±32,74*
КН, у.о.	33,02±2,16	26,89±2,48*

Примітка, * - p<0,05 між групами

Виконання різних рівнів пасивної ортопроби призводило до зниження t-RR, пропорційного куту нахилу тулуба як у спортсменів так і у не спортсменів (рис. 1). При цьому міжгрупові відмінності зберігались майже у всіх умовах за винятком вимірів на 20-й хвилини перебування у положенні 60°. Також звертає на себе увагу швидке відновлення та навіть супервідновлення цього показника після повернення в вихідне горизонтальне положення.

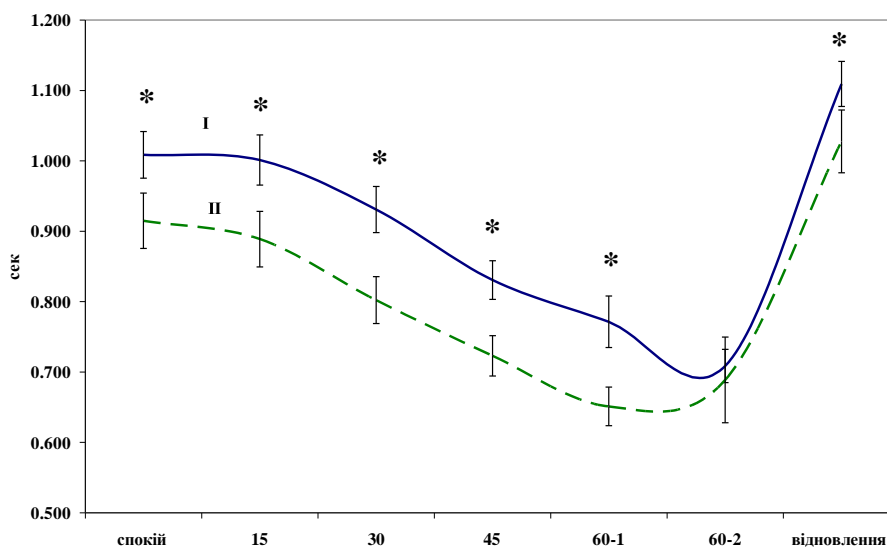


Рис. 1. Тривалість інтервалу RR на різних етапах проведення градуйованої пасивної ортопроби у спортсменів високого класу (I, n=17) та у молодих здорових чоловіків (II, n=17).
* - p<0,05

Відмінностей у рівнях діастолічного артеріального тиску у спортсменів та не спортсменів майже на всіх етапах проведення тесту не виявлено за винятком умов 60°-2 (відповідно 95,00±1,21 та 90,29±2,16 мм рт.ст, p<0,01). Разом з цим аналіз реактивності цього показника упродовж проби (рис. 2) показав вірогідно більше його підвищення у спортсменів на початку перебування у положенні 60° та подальше збільшення через 20 хвилин.

Аналіз змін показників серцевого викиду при проведенні градуйованої пасивної ортопроби показав, що відмінності у вимірюваних групах за УІ зберігаються на всіх її етапах до положення 60°-2 та відновлення після завершення тесту. Для СІ таких відмінностей не виявлено.

Зміни кардіодинаміки упродовж тесту мали свої особливості. Так відмінності між I та II групами за тривалістю фази вигнання спостерігали на 30° та 45°, для тривалості фази напруження та ІНМ - на 30°. Втім при нахилі на 60° та у період відновлення такі відмінності нівелюються. Це може свідчити про різний рівень пристосування вже на цих кутах нахилу чи наявності його суттєвих індивідуальних особливостей.

Подібна закономірність характерна і для показника ОШВ. Відмінності між групами зникають в умовах 60°-2 та у період після повернення у вихідне горизонтальне положення.

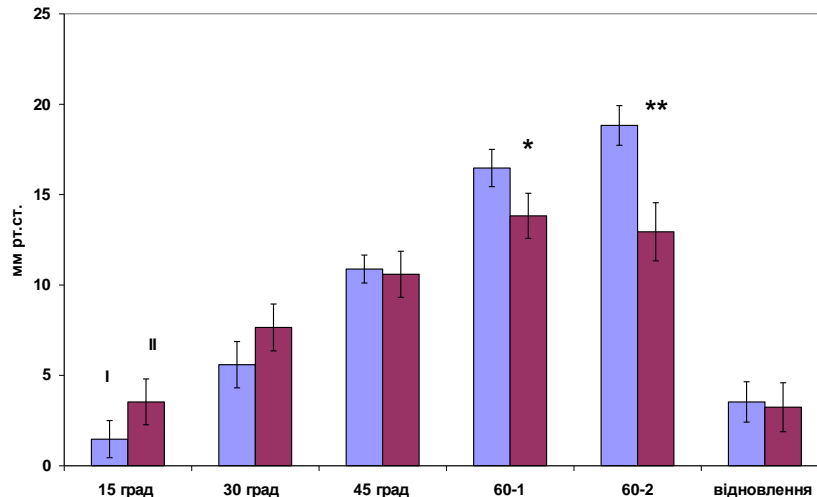


Рис. 2. Реактивність діастолічного артеріального тиску при пасивній градуальній ортопробі у спортсменів високого класу (I, n=17) та у молодих здорових чоловіків (II, n=17).
* - p<0,05; ** - p<0,01 між групами

Для кровонаповнення органів грудної порожнини відмінності між групами зберігаються на всіх етапах тесту.

Як показано вище, найбільш суттєві зміни центральної гемодинаміки при проведенні проби реєстрували на 20-й хвилині знаходження вимірюваних у положенні 60°. Тому проводили детальний аналіз реактивності всіх показників в цих умовах (табл. 2). Так спортсмени мали більше зниження t-RR, УІ, СІ, ОШВ та підвищення АТ_{діаст} ніж не спортсмени. Такі зміни вказують на більше напруження серцево-судинної системи у них. У не спортсменів зміни гемодинаміки прогностично більш позитивні. Ця парадоксальна ситуація, на наш погляд, може пояснюватись, по-перше більшим включенням скорочення м'язів нижніх кінцівок у спортсменів (та виключенням їх скорочення при пасивному ортостазі) для забезпечення повернення крові до серця у спортсменів. Другою можливою причиною цього може бути більше задіяння гетерометричних механізмів регуляції серцевого викиду у спортсменів. При обмеженні надходження крові до серця внаслідок її застою в нижніх кінцівках це створює більш несприятливі умову для осіб, що регулярно виконують спортивні фізичні вправи.

Таблиця 2

Реактивність показників центральної гемодинаміки у спортсменів та неспортсменів на 20-й хвилині перебування у положенні 60°

Показники	Спортсмени	Неспортсмени
t-RR, мс	-0,300±0,027	-0,226±0,043*
АТ _{діаст} , мм рт.ст.	18,82±1,10	12,94±1,61***
УІ, мл/м ²	-21,77±3,49	-13,16±3,86*
СІ, л/м ² ·хв	-0,89±0,21	-0,36±0,32*
Т _{вигн} , мс	-0,088±0,009	-0,085±0,009
Т _{напр} , мс	0,035±0,009	0,032±0,011
ІНМ, %	14,56±1,45	13,65±2,90
ОШВ, мл/сек	-89,9±19,8	-40,6±24,7*
КН, у.о.	-3,71±2,37	-1,14±1,39

Примітка, * - p<0,05; *** - p<0,001 між групами

Також важливим було проаналізувати реактивність відновлення показників гемодинаміки після проведення пасивної гра дуальної ортопроби (табл. 3). Деяко парадоксальним є більш висока реактивність УІ, СІ, ОШВ у неспортсменів при цьому. Поряд з цим показники кардіодинаміки у них відновлювались в меншому ступені ніж у спортсменів.

Таблиця 3

Реактивність показників центральної гемодинаміки у спортсменів та не спортсменів у період відновлення після градуальної пасивної ортопроби

Показники	Спортсмени	Неспортсмени
t-RR, мс	0,101±0,023	0,113±0,032
АТ _{діаст} , мм рт,ст,	3,53±1,12	3,24±1,35
УІ, мл/м ²	-1,24±2,01	10,91±6,70**
СІ, л/м ² ·хв	-0,29±0,14	0,38±0,36**
Т _{вигн} , мс	-0,004±0,007	-0,012±0,015
Т _{напр} , мс	-0,006±0,004	0,008±0,010*
ІНМ, %	-0,72±0,85	3,29±3,14*
ОШВ, мл/сек	-2,6±10,1	21,6±24,1
КН, у.о.	0,49±1,39	0,46±1,49

Примітка, * - p<0,05; ** - p<0,01 між групами

Висновки

1. Виявлено, що фонові відмінності у тривалості інтервалу RR, ударного об'єму крові між спортсменами та неспортсменами нівелюються при тривалому знаходженні в положенні 60°. При цьому для діастолічного артеріального тиску, такі відмінності стають вірогідними з більшими значеннями у спортсменів.

2. Для показників кардіодинаміки відмінності між групами з'являються при навантаження 30°-40° та нівелюються на наступних етапах тесту.

3. Аналіз реактивності показників гемодинаміки на 20-й хвилині знаходження вимірюваних у положенні 60° показав, що Так спортсмени мали більше зниження тривалості інтервалу RR, ударного та серцевого індексу, об'ємної швидкості викиду та підвищення АТ_{діаст} ніж не спортсмени. Такі зміни вказують на більше напруження серцево-судинної системи у них.

4. При поверненні вимірюваних в горизонтальне положення у не спортсменів зареєстрована більш висока реактивність ударного та серцевого індексу, об'ємної швидкості викиду ніж у спортсменів. Поряд з цим показники кардіодинаміки у них відновлювались в меншому ступені ніж у спортсменів

Перспективи подальших досліджень. Вбачаються у з'ясуванні особливостей реактивності гемодинамічних показників на градуальну пасивну ортопробу у спортсменів різних спеціалізацій та рівня підготовленості.

Список використаної літератури

- Chernozub, A., Hlukhov, I., Drobot, K., Synytsia, A., Rymyk, R., Pyatnychuk, H., Leshchak, O., Malanyuk, L., Potop, V. (2024) Correlation between load volume and indicators of adaptive body changes in untrained young men participating in fitness (2024) Journal of Physical Education and Sport, 24 (2), art. no. 38, pp. 321-328. doi: 10.7752/jpes.2024.02038
- Frolova LS, Kovalenko SO, Petrenko YuO, Tymofeev AA, Gunko PM, Khomenko IM, Atamas OA, Nechyporenko LA, Nechyporenko DL (2018) Gender differences of basketball players aged 12-13 years according to the response to a moving object. Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports, 2018;22(5):252–259. doi:10.15561/18189172.2018.0505

3. Гречуха С.В., Коваленко С.О., Безкопильний О.О., Гаценко В.П. (2015) Реактивність центральної гемодинаміки при диханні з опором у представників різних циклічних видів спорту // Вісник Черкаського університету. Серія біологічні науки. — Випуск 2 (335). — С.20-25.
4. Коваленко С. О. (2017) Характеристика та теоретичні основи методів аналізу варіабельності серцевого ритму. Український журнал медицини, біології та спорту. № 2. С. 223–233. doi: 10.26693/jmbs02.02.223
5. Cheshire W. J., Goldstein D. (2019) Autonomic uprising: the tilt table test in autonomic medicine. Clin Auton Res. № 29 (2). P. 215–230. doi: 10.1007/s10286-019-00598-9
6. Aponte-Becerra L., Novak P. (2021) Tilt Test: A Review. J Clin Neurophysiol. 2021. № 38 (4). P. 279–286. doi: 10.1097/WNP.0000000000000625
7. Sutton R., Fedorowski A., Olshansky B., Gert van Dijk J., Abe H., Brignole M., de Lange F., Kenny R., Lim P., Moya A., Rosen S., Russo V., Stewart J., Thijs R., Benditt D. (2021) Tilt testing remains a valuable asset. Eur Heart J. № 42 (17). P. 1654–1660. doi: 10.1093/eurheartj/ehab084
8. White L., Jones H., Davies A. (2021) What is a tilt table test and why is it performed during the investigation of syncope? Br J Hosp Med (Lond). № 82 (10). P. 1–7. doi: 10.12968/hmed.2020.0462
9. Jelavić M., Babić Z., Hećimović H., Erceg V., Pintarić H. (2015) The role of tilt-table test in differential diagnosis of unexplained syncope. Acta Clin Croat. № 54 (4). P. 417–423.
10. Yukhymenko, L.a , Makarchuk, M.b , Imas, Y. c , Shcherbashyn, Y. c , Korobeynikova, L.c , Korobeynikov, G.c , Dutchak, M.c (2020) Link between brain circulation and nervous mobility of athletes and non-athletes during the orthostatic test (2020) Journal of Physical Education and Sport, 20 (6), art. no. 493, pp. 3660-3670. Cited 3 times. doi: 10.7752/jpes.2020.06493
11. Feeley, M.a , Ito, G.a , Tsubota, S.b , Sawai, T. b , Nakata, H.a b , Otsuki, S.a b , Miyamoto, T. (2024) Impact of Orthostatic Stress on Cardiorespiratory Response in Volleyball Player: Insights from Lower Body Negative Pressure Load Test (2024) Advanced Biomedical Engineering, 13, pp. 35-42 doi:10.14326/abe.13.35
12. Kubichek W.G., Patterson R.P., Wetsol D.A. (1970) Impedance cardiography as a noninvasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system // Ann. N.Y. Acad. Sci. №2. P. 724-732.

References

1. Chernozub, A., Hlukhov, I., Drobot, K., Synytsia, A., Rymyk, R., Pyatnychuk, H., Leshchak, O., Malanyuk, L., Potop, V. (2024) Correlation between load volume and indicators of adaptive body changes in untrained young men participating in fitness (2024) Journal of Physical Education and Sport, 24 (2), art. no. 38, pp. 321-328. doi: 10.7752/jpes.2024.02038
2. Frolova LS, Kovalenko SO, Petrenko YuO, Tymofeev AA, Gunko PM, Khomenko IM, Atamas OA, Nechyporenko LA, Nechyporenko DL (2018) Gender differences of basketball players aged 12-13 years according to the response to a moving object. Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports, 2018;22(5):252–259. doi:10.15561/18189172.2018.0505
3. Hrechukha S.V., Kovalenko S.O., Bezcopylnyi O.O., Hatsenko V.P. (2015) Reaktyvnist tsentralnoi hemodynamiky pry dykhanni z oporom u predstavnykiv riznykh tsyklichnykh vydiv sportu. *Visnyk Cherkaskoho universytetu. Seriiia biolohichni nauky.* 2(335). P.20-25
4. Kovalenko SO (2017) Kharakterystyka ta teoretychni osnovy metodiv analizu variabelnosti sertsevoho rytmu. Ukrainyskyi zhurnal medytsyny, biolohii ta sportu. № 2. P. 223–233. doi: 10.26693/jmbs02.02.223
5. Cheshire W. J., Goldstein D. (2019) Autonomic uprising: the tilt table test in autonomic medicine. Clin Auton Res. № 29 (2). P. 215–230. doi: 10.1007/s10286-019-00598-9
6. Aponte-Becerra L., Novak P. (2021) Tilt Test: A Review. J Clin Neurophysiol. 2021. № 38 (4). P. 279–286. doi: 10.1097/WNP.0000000000000625
7. Sutton R., Fedorowski A., Olshansky B., Gert van Dijk J., Abe H., Brignole M., de Lange F., Kenny R., Lim P., Moya A., Rosen S., Russo V., Stewart J., Thijs R., Benditt D. (2021) Tilt testing remains a valuable asset. Eur Heart J. № 42 (17). P. 1654–1660. doi: 10.1093/eurheartj/ehab084
8. White L., Jones H., Davies A. (2021) What is a tilt table test and why is it performed during the investigation of syncope? Br J Hosp Med (Lond). № 82 (10). P. 1–7. doi: 10.12968/hmed.2020.0462
9. Jelavić M., Babić Z., Hećimović H., Erceg V., Pintarić H. (2015) The role of tilt-table test in differential diagnosis of unexplained syncope. Acta Clin Croat. № 54 (4). P. 417–423.

10. Yukhymenko, L.a , Makarchuk, M.b , Imas, Y. c , Shcherbashyn, Y. c , Korobeynikova, L.c , Korobeynikov, G.c , Dutchak, M.c (2020) Link between brain circulation and nervous mobility of athletes and non-athletes during the orthostatic test (2020) Journal of Physical Education and Sport, 20 (6), art. no. 493, pp. 3660-3670. Cited 3 times. doi: 10.7752/jpes.2020.06493
11. Feeley, M.a , Ito, G.a , Tsubota, S.b , Sawai, T. b , Nakata, H.a b , Otsuki, S.a b , Miyamoto, T. (2024) Impact of Orthostatic Stress on Cardiorespiratory Response in Volleyball Player: Insights from Lower Body Negative Pressure Load Test (2024) Advanced Biomedical Engineering, 13, pp. 35-42 doi:10.14326/abe.13.35
12. Kubichek W.G., Patterson R.P., Wetsol D.A. (1970) Impedance cardiography as a noninvasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system // Ann. N.Y. Acad. Sci. №2. P. 724-732.

Tsyhannyk R.A., Kovalenko S.O. CHANGES IN CENTRAL HEMODYNAMICS IN ATHLETES DURING GRADED TILT TEST

Introduction. *The study of the peculiarities of athletes' adaptation to systematic physical training includes an assessment of their body state both at rest and the reactivity of various systems to standardized loads. Determination of such changes in athletes allows to objectively assess and correct their functional state.*

Purpose. *To find out the peculiarities of the level and reactivity of blood pressure, cardiac output, cardiovascular dynamics and blood filling of the chest organs during the graded passive orthoprosthesis in athletes and healthy young men.*

Methods. *Measurements were performed on 17 athletes and 17 healthy men aged 18-25 years. Systolic (SBP) and diastolic (DBP) blood pressure was measured using a Korotkoff tonometer (Reiker, Germany). Mean arterial pressure was calculated using the Hickham formula. To assess hemodynamic parameters, transthoracic tetrapolar impedance rheoplethysmography was used. The chest rheoplethysmogram was recorded on a HAI-medica standard rheograph (HAI-medica, Kharkiv, Ukraine). According to the signals of differentiated chest rheogram and electrocardiogram, the following central hemodynamic parameters were calculated in the program of this developer: duration of the RR interval, stroke and cardiac indexes, duration of the expulsion phase, myocardial tension phase, volume ejection velocity, and blood filling level of the chest organs.*

Main results of the study. *It was found that the background differences in the duration of the RR interval and stroke blood volume between athletes and non-athletes are leveled out with prolonged stay in the 60° position. However, for diastolic blood pressure, such differences become significant with higher values in athletes. For cardiovascular parameters, differences between the groups appear at 30°-40° and are leveled off in the subsequent stages of the test. The analysis of the reactivity of hemodynamic parameters at the 20th minute of being measured in the 60° position showed that So athletes had a greater decrease in the duration of the RR interval, stroke and cardiac index, volume ejection velocity and increase in diastolic blood pressure than non-athletes. Such changes indicate a greater stress on the cardiovascular system in them. When the subjects were returned to a horizontal position, non-athletes showed higher reactivity of the stroke and cardiac index, volumetric ejection velocity than athletes. At the same time indicators of cardiodynamics in them were restored to a lesser degree than in sportsmen*

Originality. *The peculiarities of hemodynamic reactivity of athletes to passive graded orthotics test are shown for the first time*

Conclusions. *The aim of the study is to determine the peculiarities of the reactivity of hemodynamic parameters to the graded passive orthotics test in athletes of different specializations and fitness levels.*

Keywords: *central hemodynamics, athletes, MMA, physical activity, adaptation, tilt test*

Одержано редакцією: 04.04.2024
Прийнято до публікації: 06.05.2024

Відомості про авторів

Filippov Mykhailo – Department of Medical and Biological Disciplines, professor, National University of Ukraine on Physical Education and Sport

Piyn Volodymyr – Department of Medical and Biological Disciplines, professor, National University of Ukraine on Physical Education and Sport

Koval Yuliya Vitaliyivna – researcher the M. Bosi Scientific Research Institute of Physiology, Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

Lyzohub Volodymyr Serhiyovych – Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the M. Bosi Scientific Research Institute of Physiology, Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

Paliichuk Olha Volodymyrivna – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Fundamental Medicine, Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

Salivonchyk Ivan Ivanovych – PhD student, Cherkasy Bohdan Khmelnytskyi National University

Vynohradov Valerii – Department of Sport and Fitness, professor, Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University

Бабак Світлана Віталіївна – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін, Національний університет фізичного виховання і спорту України

Бакуновський Олександр Миколайович – викладач кафедри медико-біологічних дисциплін, Національний університет фізичного виховання і спорту України

Завальнюк Вікторія Леонідівна – викладач кафедри кіберспорту та інформаційних технологій Національного університета фізичного виховання і спорту України

Імас Євгеній Вікторович – д.ек.н., професор, ректор Національного університета фізичного виховання і спорту України

Каліга Анастасія Михайлівна – студентка аспірантури, 091 Біологія, Національний університет фізичного виховання і спорту України

Карпенко Юрій Олександрович – кандидат біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології, географії та природокористування, Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка

Киричек Павло Володимирович – Викладач кафедри медико-біологічних дисциплін

Коваленко Станіслав Олександрович – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри спортивних дисциплін, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Корман Ширлі-Анастасія Сергіївна – Аспірантка кафедри медико-біологічних дисциплін Національного університета фізичного виховання і спорту України

Кравець Аркадій Олексійович – фізичний терапевт, реабілітаційне відділення КНП РОП «Астра» ЧМР

Куценко Тетяна Василівна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри фізіології та анатомії, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Куцоконь Юлія Костянтинівна – кандидат біологічних наук, старший дослідник, завідувач відділу фауни та систематики хребетних, Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України

Лизогуб Володимир Сергійович – д.б.н., професор, директор Науково-дослідного інституту фізіології імені М. Босого, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,

Лікар Світлана Петрівна – старший науковий співробітник сектору методичного забезпечення відділу експертизи на відмінність, однорідність та стабільність сортів рослин, Український інститут експертизи сортів рослин

Лук'янцева Галина Володимирівна – д.б.н., професор, професор кафедри медико-біологічних дисциплін Національного університета фізичного виховання і спорту України

Луць Юлія Петрівна – аспірант кафедри медико-біологічних дисциплін, Національний університет фізичного виховання і спорту України

Лю Максим Володимирович – аспірант, кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

Мехед Ольга Борисівна – доктор педагогічних наук, кандидат біологічних наук, професор, завідувач кафедри біології, Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка

Михайленко Марія Миколаївна – студентка 4 курсу, Факультету захисту рослин, біотехнології та екології, НУБіП України.

Мінасв Борис Пилипович – доктор хімічних наук Професор Професор кафедри хімії та наноматеріалознавства Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Нестерова Наталія Георгіївна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики НУБіП України

Палладіна Оксана Львівна – к.м.н., доцент кафедри медико-біологічних дисциплін Національного університету фізичного виховання і спорту України

Панченко Олександр Олександрович – магістр Лаборант Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Пастухова Вікторія Анатоліївна – д.м.н., професор, завідувач кафедри медико-біологічних дисциплін Національного університета фізичного виховання і спорту України

Путілін Ігор Анатолійович – магістр, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,

Романь Анатолій Михайлович – кандидат біологічних наук, науковий співробітник відділу іхтіології та гідробіології річкових систем, Інституту гідробіології НАН України

Свірін Ярослав Романович – викладач кафедри медико-біологічних дисциплін Національного університета фізичного виховання і спорту України

Скоробогатов Андрій Миколайович – д.м.н., доцент, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін Національного університета фізичного виховання і спорту України

Сосновський Володимир Володимирович – доктор філософії, викладач кафедри медико-біологічних дисциплін Національного університета фізичного виховання і спорту України

Федорчук Світлана Володимирівна – кандидат біологічних наук, ст. наук. співр. Науково-дослідного інституту, Національний університет фізичного виховання і спорту України

Хоменко Сергій Миколайович – к.б.н., доцент кафедра анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького

Циганник Роман Анатолійович – аспірант кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Чистовська Юлія Юріївна – д. псих. н., професор, завідувач кафедри психології, Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького,

Шух Анастасія Євгенівна – аспірант відділу моніторингу та охорони тваринного світу, Інституту зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України

Щербатюк Микола Миколайович – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу фітогормонології, Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України

ЗМІСТ

Гаврилюк М. Н., Лизогуб В. С. ДО 90-РІЧНОГО ЮВІЛЕЮ ФЕДОРА ФЕДОРОВИЧА БОСЧКА	4
Пуйн. V., Filippov M., Vynohradov V. PREVALENCE OF CHRONIC FATIGUE AND CHRONIC FATIGUE SYNDROME IN UKRAINIAN ELITE ATHLETES: RESULTS FROM A POPULATION-BASED STUDY.....	7
Imas Y. V., Lukyantseva H.V., Pastukhova V.A., Svirin Y. R., Skorobogatov A. M., Sosnovski V. V., Zavalniuk V. L. ESPORTS AS ONE OF THE DRIVING FACTORS OF THE INFORMATION EVOLUTION OF HUMANITY	18
Kirichek P. V. MODULATION OF THE CONTRACTILE ACTIVITY IN THE SMOOTH MUSCLES OF THE COLON BY BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES	29
Lyzohub V. S., Salivonchuk I. I., Koval Y. V., Paliichuk O. V. ROLE OF VISUAL INFORMATION IN MAINTAINING STATOKINETIC STABILITY ON STEADY AND UNSTEADY PLATFORM.....	35
Palladina O., Kaliga A. RELATIONSHIP BETWEEN THE GUT MICROBIOTA COMPOSITION AND BODY MASS INDEX	46
Бабак С. В., Малько К. С. МІКРОБІОМ ТОВСТОЇ КИШКИ ПРИ РІЗНИХ ВИДАХ ХАРЧУВАННЯ.....	53
Корман Ш.-А. С., Лук'янцева Г. В. ВІКОВІ ЗМІНИ МАКРО- І МІКРОЦИРКУЛЯЦІЇ КРОВІ ПІД ВПЛИВОМ ДОЗОВАНОГО ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗАЛЕЖНО ВІД СТУПЕНЯ ТРЕНОВАНОСТІ ОРГАНІЗМУ	63
Куцоконь Ю. К., Шух А. Є., Романь А. М., Щербатюк М. М. СУЧАСНИЙ СКЛАД ІХТІОФАУНИ РІЧКИ ЧУМГАК (БАСЕЙН СУЛИ).....	72
Лизогуб В. С., Кравець А. О., Путілін І. А., Чистовська Ю. Ю. ПОСТУРАЛЬНА СТІЙКІСТЬ НА СТАБІЛЬНІЙ ТА НЕСТАБІЛЬНІЙ ОПОРІ ЗА РІЗНОЇ ПАТОЛОГІЇ.....	79
Луць Ю. П., Бакуновський О. М., Лук'янцева Г. В., Купенко Т. В., Федорчук С. В. ТОЧНІСТЬ РЕАКЦІЇ НА РУХОМИЙ ОБ'ЄКТ ТА ВАРІАБЕЛЬНІСТЬ СЕРЦЕВОГО РИТМУ КІБЕРСПОРТСМЕНІВ	93
Мехед О. Б., Карпенко Ю. О. ПРИБЕРЕЖНО-ВОДНА РОСЛИННІСТЬ ЗАПЛАВИ РІЧКИ СНОВ ЯК КОМПОНЕНТ РЕКРЕАЦІЙНО-РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА.....	112

Михайленко М. М., Нестерова Н.Г., Лікар С. П. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИН РОДУ VIBURNUM ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЯКОСТЕЙ КИСЛОМОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ.....	121
Мінаєв Б. П., Панченко О. О., Решетняк О. В. СПІНОВІ МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ КИСНЮ ТА ЙОГО АКТИВНИХ ВІЛЬНОРАДИКАЛЬНИХ ФОРМ	131
Хоменко С. М., Лю М. В. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ РЕЗЕРВІВ СЕРЦЕВО- СУДИННОЇ СИСТЕМИ ПІДЛІТКІВ ТА ЮНАКІВ.....	141
Циганник Р. А., Коваленко С. О. ЗМІНИ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ У СПОРТСМЕНІВ ПРИ ГРАДУАЛЬНІЙ ПАСИВНІЙ ОРТОПРОБІ.....	150
Відомості про авторів.....	157

CONTENT

Gavrilyuk, M. N., Lyzogub, V. S. TO 90 YEARS FROM THE BIRTHDAY OF FEDIR FEDOROVYCH BOYECHKO.....	4
Ilyin. V., Filippov M., Vynohradov V. PREVALENCE OF CHRONIC FATIGUE AND CHRONIC FATIGUE SYNDROME IN UKRAINIAN ELITE ATHLETES: RESULTS FROM A POPULATION-BASED STUDY.....	7
Imas Y. V., Lukyantseva H.V., Pastukhova V.A., Svirin Y. R., Skorobogatov A. M., Sosnovski V. V., Zavalniuk V. L. ESPORTS AS ONE OF THE DRIVING FACTORS OF THE INFORMATION EVOLUTION OF HUMANITY.....	18
Kirichek P. V. MODULATION OF THE CONTRACTILE ACTIVITY IN THE SMOOTH MUSCLES OF THE COLON BY BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES	29
Lyzohub V. S., Salivonchuk I. I., Koval Y. V., Paliichuk O. V. ROLE OF VISUAL INFORMATION IN MAINTAINING STATOKINETIC STABILITY ON STEADY AND UNSTEADY PLATFORM.....	35
Palladina O., Kaliga A. RELATIONSHIP BETWEEN THE GUT MICROBIOTA COMPOSITION AND BODY MASS INDEX	46
Babak S., Mal'ko K. THE MICROBIOME OF THE LARGE INTESTINE UNDER VARIOUS DIETS.....	53
Korman Sh.-A., Lukyantseva H. V. AGE CHANGES IN MACRO- AND MICROCIRCULATION OF BLOOD UNDER THE INFLUENCE OF DOSED PHYSICAL TRAINING DEPENDING ON THE DEGREE OF TRAINING OF THE ORGANISM	63
Kutsokon Y. K., Shukh A. Y., Roman A. M., Shcherbatiuk M. M. CURRENT COMPOSITION OF THE FISH POPULATION OF THE CHUMHAK RIVER BASIN (SULA RIVER BASIN)	72
Lyzohub V.S., Kravets A.O., Putilin I.A., Chistovska Y.Yu. POSTURAL STABILITY ON STABLE AND UNSTABLE SUPPORT IN DIFFERENT PATHOLOGIES	79
Luts Yu. P., Bakunovskyi O. M., Lukyantseva H. V., Kutsenko T. V., Fedorchuk S. V. ACCURACY OF REACTION TO A MOVING OBJECT AND HEART RATE VARIABILITY OF CYBER-ATHLETES	93
Mekhed O. B., Karpenko Y. O. ASSESSMENT OF THE STATE OF COASTAL-AQUATIC VEGETATION OF THE FLOODWATER OF THE SNOV RIVER AS A RECREATION ENVIRONMENT.....	112

Mykhailenko M.M., Nesterova N.G., Likar S.P. PERSPECTIVES OF USING VIBURNUM PLANTS FOR IMPROVING THE FUNCTIONAL QUALITY OF DAIRY PRODUCTS.....	121
Minaev B. F., Panchenko O. O., Reshetnyak O. V. SPIN MAGNETIC PROPERTIES OF OXYGEN AND ITS ACTIVE FREE RADICAL FORMS.....	131
Khomenko S.M., Liu M.V. PECULIARITIES OF FORMATION OF FUNCTIONAL RESERVES OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM OF ADOLESCENTS AND YOUNG MEN	141
Tsyhannyk R.A., Kovalenko S.O. CHANGES IN CENTRAL HEMODYNAMICS IN ATHLETES DURING GRADED TILT TEST	150
Information about the authors.....	157

**ВІСНИК
ЧЕРКАСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ**

Серія біологічні науки
№ 1. 2024

Відповідальний за випуск
Лизогуб В. С.

Відповідальний секретар:
Светлова О. Д.

Комп'ютерне верстання
Любченко Л. Г.

Підписано до друку 20.06.2024.
Формат 84x108/16. Папір офсет. Друк офсет. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. арк. 13,8. Обл. вид. арк. 14,0.
Замовлення № 77. Тираж 300 прим.