

АНОТАЦІЯ

Кармаш О.І. Біохімічні ефекти фотобіомодуляційної терапії за експериментального цукрового діабету. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 галузі знань 09 «Біологія». – Міністерство освіти і науки України. – Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, 2021.

Дисертація присвячена дослідженню впливу фотобіомодуляційної терапії на біохімічні процеси у клітинах крові щурів за умов експериментального цукрового діабету.

Цукровий діабет – група метаболічних захворювань, які є наслідком дефектів секреції інсуліну, дії інсуліну або обох цих чинників, що призводить до підвищення рівня глюкози у крові. Хронічна гіперглікемія спричиняє порушення та пошкодження деяких органів та тканин зокрема очей, нирок, серця та кровоносних судин. Наразі існує велика кількість препаратів, що призначені для контролю рівня глюкози у крові та полегшення стану пацієнта, проте такі препарати часто виявляються недостатньо ефективними та мають побічні ефекти. Варто зазначити, що надмірна неконтрольована продукція активних форм Оксигену та розвиток оксидативного стресу, зокрема у клітинах крові, є ключовим фактором виникнення багатьох ускладнень цукрового діабету та патогенезу цього захворювання. Саме тому, для запобігання розвитку діабетичних ускладнень важливо не допустити розвиток оксидативного стресу. Для цього застосовують сполуки з антиоксидантними властивостями, наприклад поліфеноли. Тому надзвичайно важливим є пошук нових методів подолання гіперглікемії та полегшення супутніх ускладнень цукрового діабету, викликаних розвитком оксидативного стресу.

Фотобіомодуляційна терапія (ФБМТ, низькоінтенсивна світлова терапія) полягає у використанні світла видимої (іноді інфрачервоної) ділянки спектра. Світлова терапія є одним з найдавніших терапевтичних методів, що

використовуються людьми (історично як сонячна терапія у єгиптян, пізніше як ультрафіолетова терапія, за яку Нільс Фінсен отримав Нобелівську премію в 1904 році). Використання лазерів і світлодіодів як джерел світла стало наступним кроком технологічного розвитку світлотерапії, яка зараз застосовується у всьому світі. Для ФБМТ питання полягає вже не в тому, чи має світло біологічні ефекти, а як енергія від лазера або світлодіода працює на рівні клітини та організму, і які оптимальні параметри світла для використання цих різних джерел світла. Такий вид терапії є неінвазивним та демонструє низку позитивних ефектів (антибактеріальна, протизапальна та антиоксидантна дії, активація проліферації клітин та синтезу колагену та ін.), що дозволяють її потенційне застосування для лікування діабетичних порушень.

Фотобіомодуляційна терапія в Україні наразі використовується для лікування широкого спектру захворювань, проте найчастіше лише як допоміжна ланка фізіотерапії. Повноцінному застосуванню, перш за все, перешкоджає недостатня з'ясованість молекулярних механізмів впливу фотобіомодуляційної терапії на живі об'єкти. Існує багато експериментальних досліджень, які повідомляють про позитивний вплив фотобіомодуляційної терапії на загоєння ран та запобігання бактеріальним інфекціям. Саме тому фотобіомодуляційну терапію часто застосовують у хірургії, хоча таке застосування багато в чому є емпіричним.

Перше, на що впливає гіперглікемія та оксидативний стрес за цукрового діабету – це система крові. Зміни у структурі мембран еритроцитів, порушення зв'язування кисню з гемоглобіном та модифікація механічних характеристик є наслідком впливу гіперглікемії на еритроцити. Надмірна або недостатня функціональна активність лейкоцитів призводить до підвищеної сприйнятливості до інфекцій у хворих на цукровий діабет. Хоча існує велика кількість досліджень антиоксидантних властивостей фотобіомодуляційної терапії, її вплив на систему крові за умов цукрового діабету залишається недостатньо дослідженим.

Зважаючи на вищевказані аргументи, дослідження впливу фотобіомодуляційної терапії на біохімічні процеси у організмі (та клітини крові

зокрема) за норми та умов цукрового діабету дозволить з'ясувати молекулярні механізми дії фотобіомодуляційної терапії та обґрунтувати її застосування як ефективного та неінвазивного методу лікування цукрового діабету та його ускладнень.

Метою нашої роботи було дослідити біохімічні ефекти фотобіомодуляційної терапії за умов експериментального цукрового діабету.

У дисертаційній роботі досліджено вплив фотобіомодуляційної терапії на окремі гематологічні показники за умов цукрового діабету. Встановлено, що фотобіомодуляційна терапія позитивно впливає на роботу системи еритроноу, зокрема виявлено збільшення кількості еритроцитів та зменшення кількості ретикулоцитів у щурів за умов експериментального цукрового діабету (ЕЦД) та дії ФБМТ. Також встановлено підвищення стійкості мембран еритроцитів до дії кислотного гемолітика за умов ЕЦД та дії ФБМТ. За дії ФБМТ також виявлено підвищення концентрації гемоглобіну та збільшення вмісту протопорфірину у крові щурів з ЦД. Експериментально показано можливість протопорфірину слугувати фотоакцептором ФБМТ, у застосованих довжинах хвиль, і виявляти фотодинамічний ефект.

Окрім того, встановлено роль ФБМТ у покращенні кисень-транспортної функції гемоглобіну за умов ЦД. Виявлено, що за впливу ФБМТ на тварин з ЦД відбувається збільшення P_{50} порівняно зі значеннями у неопромінених тварин.

Досліджено вплив ФБМТ на розвиток оксидативно-нітративного стресу у клітинах крові щурів з ЕЦД. Встановлено коригуючу дію ФБМТ на прооксидантно/антиоксидантний баланс у клітинах крові щурів з ЕЦД. Виявлено зниження рівня продуктів перекисного окиснення ліпідів (ТБК-позитивних продуктів) у плазмі крові, еритроцитах та лізатах лейкоцитів, проте вміст активних форм Оксигену (АФО) у лейкоцитах щурів з ЕЦД за дії ФБМТ не змінювався. Відсутність змін у вмісті АФО за дії ФБМТ при ЦД на фоні зниження вмісту ТБК-позитивних продуктів у лейкоцитах свідчить про те, що ФБМТ не впливає на пряму на зниження кількості АФО, а навпаки, дещо підвищує їхню кількість (відбувається збільшення рівня АФО у здорових тварин після опромінення). Однак, ФБМТ, можливо, здатна впливати на

ферментну систему антиоксидантного захисту клітини. Встановлено підвищення активності каталази та СОД у лейкоцитах за цукрового діабету та дії ФБМТ.

Виявлено зниження вмісту окисно-модифікованих білків (ОМБ) у лізатах лейкоцитів та кінцевих продуктів оксидації білків (AOPPs) і кінцевих продуктів глікації (AGEs) у плазмі крові щурів з ЕЦД за дії ФБМТ. Виявлено зниження вмісту AOPPs і AGEs у лізатах лейкоцитів за ЕЦД та підвищення за умов ЕЦД та дії ФБМТ. Зниження рівня AOPPs у лізатах лейкоцитів за ЕЦД можна пояснити зниженою активністю мієлопероксидази (основного продуцента гіпохлориту) у лейкоцитах. Зниження вмісту AGEs у лізатах лейкоцитів за ЕЦД можна пояснити порушенням надходження глюкози у лейкоцити за діабетичних умов. Виявлено зниження рівня рецептора до кінцевих продуктів глікації RAGE у плазмі крові щурів з ЕЦД за дії ФБМТ. Встановлено, що за умов ЕЦД та дії ФБМТ активність МПО змінюється різнонапрямлено: знижується у плазмі крові та зростає у лізатах лейкоцитів, що знову ж таки, пояснює різноспрямовані зміни рівнів AOPPs у лейкоцитах та плазмі крові за досліджуваних умов. Зміни ж активності мієлопероксидази пояснюються зниженим вмістом кінцевих продуктів глікації у лейкоцитах за умов ЦД, адже існують дані, що AGEs здатні стимулювати продукцію мієлопероксидази у нейтрофілах.

Встановлено, що за умов ЕЦД та дії ФБМТ знижується активність NOS (сумарна та iNOS) і рівень нітритів.

Досліджено вплив ФБМТ на глікемічний профіль організму та енергозабезпечення лейкоцитів за умов ЕЦД. Встановлено антигіперглікемічну активність ФБМТ. Виявлено, що за дії ФБМТ відбувається зниження концентрації глюкози у цільній крові та вмісту глікозильованого гемоглобіну у гемолізатах еритроцитів щурів, хворих на ЦД. Встановлено покращення толерантності організму тварин до навантаження глюкозою. Виявлено зниження активності поглинання флуоресцентного аналога глюкози 2-NBDG лейкоцитами за умов ЕЦД та підвищення за дії ФБМТ. Встановлено зниження вмісту АТФ у лейкоцитах за умов ЕЦД та підвищення за дії ФБМТ. Це свідчить

про покращення енергозабезпечення лейкоцитів, що може сприяти нормалізації їх функціональної активності.

Досліджено вплив ФБМТ на функціональний стан лейкоцитів щурів за умов ЕЦД. Встановлено, що ФБМТ нормалізує продукцію АФО лейкоцитами та активізує процес фагоцитозу, позитивно впливаючи на функціональний стан клітин. Виявлено підвищення активності фагоцитозу (фагоцитарного показника та індексу завершеності фагоцитозу) та продукції супероксиду нейтрофільними гранулоцитами за умов ЕЦД та дії ФБМТ.

У дисертаційній роботі з'ясовано біохімічні ефекти ФБМТ на систему крові щурів за умов ЕЦД. Це створює можливість для ширшого застосування ФБМТ як допоміжної терапії при лікуванні ЦД та його ускладнень. Пояснено гіпоглікемічний ефект ФБМТ, а також її нормалізуючий вплив на прооксидантно/антиоксидантний баланс завдяки фотодинамічному ефекту протопорфірину та на функціональний стан лейкоцитів завдяки її здатності підвищувати поглинання глюкози клітинами та нормалізувати їхнє енергозабезпечення.

Всі дослідження, результати яких представлені у дисертаційній роботі, виконано особисто або за безпосередньої участі здобувача. Автором дисертаційної роботи самостійно проведено пошук та аналіз наукової літератури, виконано основну частину експериментальної роботи та здійснено статистичну обробку отриманих результатів. Планування експериментальних досліджень, аналіз та обговорення отриманих даних, підготовка рукописів статей проводилося спільно з науковим керівником д.б.н. Сибірною Н.О.

Ключові слова: цукровий діабет, лейкоцити, еритроцити, оксидативний стрес, гіперглікемія, фотобіомодуляційна терапія, енергозабезпечення клітини, поглинання глюкози, фагоцитоз, бактерицидна активність.

SUMMARY

Karmash O.I. Biochemical effects of photobiomodulation therapy under experimental diabetes mellitus. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialization 091 of field of knowledge 09 “Biology”. – Ministry of education and science of Ukraine. – Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, 2021.

This dissertation focuses on the influence of photobiomodulation therapy on biochemical processes in blood cells of rats with experimental diabetes mellitus.

Diabetes mellitus is a group of metabolic diseases, characterized by disorders in insulin secretion and activity that leads to increase of glucose level in blood. Chronic hyperglycemia causes the disorders and injuries of some organs and tissues in human body, in particular eyes, kidneys, heart and blood vessels. Nowadays, there are the great amount of drugs for controlling blood glucose level and relieving patients state. However, such drugs are often ineffective and have side effects. It is worth to mention that excessive production of reactive Oxygen species and developing of oxidative stress, in particular in blood cells, is a key factor of emergence of many diabetic complications and pathogenesis of this disease. It is why, for prevention the development of diabetic complications it is important to not allow the progression of oxidative stress. For this aim, compounds with antioxidant properties, e.g. polyphenols are often used. So, it is important to search new methods for overcoming hyperglycemia and relieving concomitant complications of diabetes, caused by development of oxidative stress.

Photobiomodulation therapy (PBMT, low-intensity light therapy) consist in usage of light in visible (sometimes infrared) part of spectrum. Light therapy is a one of the oldest methods of therapy that was used by people (historically as sun therapy in ancient Egyptians, later as ultraviolet therapy for which Niels Finsen was awarded by Nobel prize in 1904). Usage of lasers and light emitting diodes as a light source was the next step in technological advance of light therapy that is using now all around the globe. For PBMT it is the question not about the presence of biological

effects, but how energy from laser or light emitting diode works on the level of cells and organism, and what are the optimal light parameters for usage those different light sources. This type of therapy is noninvasive and demonstrate a number of positive effects (antibacterial, anti-inflammation and antioxidant actions, activation of cell proliferation and collagen synthesis etc.) allowing its potential application for treatment of diabetic disorders.

Photobiomodulation therapy in Ukraine is currently used for treatment of broad range of diseases, but predominantly only as supportive chain of physiotherapy. Full-fledged application, first of all, prevented by lack of clarity in molecular mechanisms of photobiomodulation therapy effects. There are a lot of experimental researches reporting about positive effect of photobiomodulation therapy on wound healing and prevention of bacterial infections. That is why photobiomodulation therapy is often used in surgery, however such an application is largely empirical.

The first thing that is affected by hyperglycemia and oxidative stress is the blood system. Changes in the structure of erythrocyte`s membrane and modification of their mechanical characteristics, impairment of hemoglobin oxygen binding are consequences of hyperglycemia action on erythrocytes. Excessive or insufficient functional activity of leukocytes leads to higher susceptibility to infections in patients with diabetes. Although there are many studies considering antioxidant properties of photobiomodulation therapy, its effect on the blood system in diabetes remains insufficiently studied.

Given the above arguments, investigation of photobiomodulation therapy effects on biochemical processes in organism (in particular blood cells) under normal and diabetic conditions will allow to elucidate molecular mechanisms of its action and justify its use as effective and noninvasive method for treatment of diabetes and diabetic complications.

The aim of our work was to investigate biochemical effects of photobiomodulation therapy under conditions of experimental diabetes mellitus.

In the dissertation work the influence of photobiomodulation therapy on some hematological indices under conditions of diabetes mellitus is investigated. It is established that photobiomodulation therapy has a positive effect on the erythron

system. In particular, the increase of erythrocytes number and decrease of reticulocytes number during experimental diabetes mellitus (EDM) and PBMT action was revealed. It is also established the increase in resistance of erythrocyte membranes to the action of acid hemolytic under the conditions of EDM and the action of PBMT. PBMT also showed an increase in hemoglobin concentration and in the content of protoporphyrin in the blood of rats with EDM. The ability of protoporphyrin to serve as a photoacceptor of PBMT in the applied wavelengths and to show a photodynamic effect has been experimentally shown.

Besides, it is established the role of PBMT in improvement of oxygen-carrying function of hemoglobin under conditions of EDM. It was established, that under the action of PBMT on animals with EDM P_{50} is increasing compare to nonirradiated animals.

The effect of PBMT on the development of oxidative-nitrative stress in the blood cells of rats with EDM was studied. Corrective action of PBMT on pro-oxidative/anti-oxidative balance in blood cells of rats with EDM was established. The decrease in the level of lipid peroxidation products (TBA-positive products) in blood plasma, erythrocytes and leukocytes was revealed, but the content of reactive Oxygen species (ROS) in the leukocytes of rats with EDM did not change under the action of PBMT. The absence of changes in ROS content under the action of PBMT during EDM alongside with the decrease of TBA-positive products in leukocytes shows that PBMT do not directly affects the decrease of ROS, but, contrary to this, slightly increase its content (the increase of ROS content occurs in healthy animals after irradiation). However, PBMT can affect the enzymatic system of antioxidant protection of the cell. An increase in the activity of catalase and SOD in leukocytes under the action of PBMT was found.

The decrease in the content of oxidatively modified proteins (OMP) in leukocytes lysates and advanced oxidation protein products (AOPPs) and advanced glycation end products (AGEs) in the blood plasma of rats with EDM under the action of PBMT was revealed. There was a decrease in the content of AOPPs and AGEs in leukocytes lysates during EDM and an increase under the conditions of EDM and the action of PBMT. The decrease of AOPPs level in leukocytes lysates

during diabetes can be explained by lower myeloperoxidase activity (the main producing agent of hypochlorite) in leukocytes. The decrease of AGEs level in leukocytes lysates during diabetes can be explained by deteriorated income of glucose in leukocytes under diabetic conditions. The decrease in the level of RAGE in blood plasma of rats with EDM and under the action of PBMT was revealed. It was found that under the conditions of EDM and the action of PBMT, the activity of MPO changes in different directions: it decreases in blood plasma and increases in leukocyte lysates, that can explain different directions in changes of AOPPs levels in leukocytes and blood plasma under investigated conditions. In turn, changes in myeloperoxidase activity can be explained by lower content of advanced glycation end products in leukocytes during diabetes, because there is data that AGEs can stimulate myeloperoxidase production in neutrophils.

It is established that under the conditions of EDM and action of PBMT NOS activity (total and iNOS) and nitrite level decreases.

The influence of PBMT on the glycemic profile of the organism and energy supply of leukocytes under EDM conditions was studied. The antihyperglycemic activity of PBMT was established. The decrease in the concentration of glucose in whole blood and the content of glycosylated hemoglobin in hemolysates of rat erythrocytes under the conditions of EDM and PBMT action was revealed. Improved tolerance of animals to glucose loading has been established. The decrease in the absorption activity of the fluorescent glucose analogue 2-NBDG by leukocytes under EDM conditions and the increase under the action of PBMT was revealed. The decrease in the content of ATP in leukocytes under the conditions of EDM and the increase under the action of PBMT were established. This indicates an improvement in the energy supply of leukocytes, which may contribute to the normalization of their functional activity.

The influence of PBMT on the functional state of rat leukocytes under EDM conditions and PBMT action was investigated. It was found that PBMT normalizes the production of ROS by leukocytes and activates the process of phagocytosis, positively affecting the functional state of cells. The increase in the activity of phagocytosis (phagocytic index and phagocytosis completion index) and superoxide

production by neutrophilic granulocytes under EDM conditions and PBMT action was revealed.

In the dissertation work the biochemical effects of PBMT on blood system of rats with EDM is found out. This creates an opportunity for the wider use of PBMT as adjunctive therapy in the treatment of diabetes and its complications. The hypoglycemic effect of PBMT, as well as its normalizing effect on prooxidant / antioxidant balance due to photodynamic action of protoporphyrin and functional state of leukocytes due to its ability to increase glucose uptake by cells and normalize their energy supply are explained.

All researches, the results of which are presented in the dissertation, performed in person or with the direct participation of the applicant. The author of the dissertation independently searched and analyzed the scientific literature, performed the main part of the experimental work and performed statistical processing of the obtained results. Planning of experimental researches, analysis and discussion of the obtained data, preparation of manuscripts of articles was carried out together with the supervisor Dr. Sybirna N.O.

Key words: diabetes mellitus, leukocytes, erythrocytes, oxidative stress, hyperglycemia, photobiomodulation therapy, cell energy supply, glucose absorption, phagocytosis, bactericidal activity.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації

1. Кармаш О.І., Люта М.Я., Єфіменко Н.В., Коробов А.М., Сибірна Н.О. / Вплив низькоінтенсивного світлового випромінювання на глікемічний профіль та фізико-хімічні характеристики еритроцитів за умов цукрового діабету у щурів. // Фізіол. Журн. – 2018. Т. 64(6). С. 68-76.
2. Karmash O.I., Liuta M.Ya., Korobov A.M., Sybirna N.O. / Effect of Photomodulation Therapy on Development of Oxidative Stress in Blood Leukocytes of Rats with Streptozocin-Induced Diabetes Mellitus. // Cyt. and Genet. – 2020. Vol. 54 (5). P. 456-464.
3. O. I. Karmash, M. Ya. Liuta, N. V. Yefimenko, N. O. Sybirna / The effect of photobiomodulation therapy on some indices of rats' blood cells functional state under experimental diabetes mellitus. // Biol. Stud. – 2021. Vol. 15(3). P. 3–16.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Люта М. Я. Біологічний ефект дії низькоінтенсивного червоного випромінювання за умов експериментального цукрового діабету / М. Я. Люта, Н. В. Єфіменко, О. І. Кармаш, А. М. Коробов, Н. О. Сибірна // Матеріали XLVII Міжнародної науково-практичної конференції «Застосування лазерів у медицині та біології». – Київ. – 2017. – С. 84-86.
2. Кармаш О. Вплив низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання на окремі показники крові щурів за умов експериментального цукрового діабету / О. Кармаш, М. Люта, А. Коробов, Н. Сибірна // Молодь і поступ біології: програма і тези доповідей XIV Міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів, присвяченої 185 річниці від дня народження Б. Дибовського (м. Львів, 10 – 12 квітня 2018 р.). – Львів. – 2018. – С. 94-95.

3. Калінік О. Аналіз змін показників стійкості еритроцитів щурів до дії кислотного гемолітика за умов експериментального цукрового діабету на фоні низькоінтенсивного електромагнітного опромінення. / О. Калінік, О. Кармаш, М. Люта, К. Дудок, А. Коробов, Н. Сибірна. // Молодь і поступ біології: програма і тези доповідей XIV Міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів, присвяченої 185 річниці від дня народження Б. Дибовського (м. Львів, 10 – 12 квітня 2018 р.). – Львів. – 2018. – С. 93-94.
4. Тершак С. Вплив низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання на функціональну активність лейкоцитів щурів за експериментального цукрового діабету / С. Тершак, О. Кармаш, М. Люта, К. Дудок, А. Коробов, Н. Сибірна. // Молодь і поступ біології: програма і тези доповідей XIV Міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів, присвяченої 185 річниці від дня народження Б. Дибовського (м. Львів, 10 – 12 квітня 2018 р.). – Львів. – 2018. – С. 101-102.
5. Karmash O.I. Effect of photobiomodulation therapy on differential white blood cells count and leukocyte antioxidant activity in streptozotocin-induced diabetic rats / O.I. Karmash, M.Y. Liuta, A.M. Korobov, N.O. Sybirna // Materials XLIX International Scientific and Practical Conference “Application of Lasers in Medicine and Biology” and “2nd Gamaleia’s Readings”. – Kharkiv. – 2018. – P. 176-178.
6. Karmash O.I. The influence of photobiomodulation therapy on blood antioxidant system in rats with experimental diabetes mellitus / O.I. Karmash, M.Ya. Liuta, A.M. Korobov, N.O. Sybirna // Матеріали 50-ої ювілейної Міжнародної науково-практичної конференції «Застосування лазерів у медицині та біології». – Харків. – 2019. – С. 135-136.
7. Кармаш О. Ефект фотобіомодуляційної терапії на стан антиоксидантної системи лейкоцитів крові щурів за умов цукрового діабету / О. Кармаш, П. Фоловко, А. Маслакова, М. Люта, А. Коробов,

- Н. Сибірна // «Молодь і поступ біології»: XV Міжнародна наукова конференція студентів і аспірантів, присвячена 135 річниці від дня народження Я. Парнаса (м. Львів, 9-11 квітня 2019 р.): збірник тез. — Львів. — 2019. — С. 63-64.
8. Муяссарова К. Вплив низькоінтенсивного червоного випромінювання на показники оксидативного стресу у крові щурів за умов цукрового діабету / К. Муяссарова, О. Кармаш, Н. Єфіменко, М. Люта, А. Коробов, Н. Сибірна // «Молодь і поступ біології»: XV Міжнародна наукова конференція студентів і аспірантів, присвячена 135 річниці від дня народження Я. Парнаса (м. Львів, 9-11 квітня 2019 р.): збірник тез. — Львів. — 2019. — С. 71-72.
 9. Кармаш О.І. Антидіабетичний ефект низькоінтенсивної світлової терапії / О.І. Кармаш, М.Я. Люта, А.М. Коробов, Н.О. Сибірна // Медична та клінічна хімія: Матеріали XII українського біохімічного конгресу, м. Тернопіль, 30 вересня – 4 жовтня 2019 р. – Тернопіль. – 2019. – Т.21. – № 3. – С.190.
 10. Маслакова А. Вплив фотобіомодуляційної терапії на рівень маркерів оксидативно-нітративного стресу за умов експериментального цукрового діабету / А. Маслакова, П. Фоловко, О. Кармаш, М. Люта, Н. Сибірна // XVI Міжнародна наукова конференція студентів і аспірантів «Молодь і поступ біології», 27–29 квітня 2020 р. : збірник тез. – Львів, 2020. – С. 28–29.
 11. Муяссарова К. Ефект фотобіомодуляційної терапії на морфофункціональні властивості еритроцитів крові за умов стрептозотоцин-індукованого цукрового діабету / К. Муяссарова, О. Гіжецька, Н. Єфіменко, О. Кармаш, М. Люта, Н. Сибірна // XVI Міжнародна наукова конференція студентів і аспірантів «Молодь і поступ біології», 27–29 квітня 2020 р. : збірник тез. – Львів, 2020. – С. 31.
 12. Гіжецька О. Кисеньтранспортна функція гемоглобіну за дії фотобіомодуляційної терапії у разі експериментального цукрового

діабету / О. Гіжецька, Н. Єфіменко, О. Кармаш, М. Люта, Н. Сибірна // Молодь і поступ біології: збірник тез доповідей XVII Міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів (м. Львів, 19–21 квітня 2021 р.). – Львів: ТОВ «Ромусполіграф», 2021. – С. 35-36.

13. Маслакова А. Вплив фотобіомодуляційної терапії на енергозабезпечення й активність мієлопероксидази лейкоцитів щурів за цукрового діабету / А. Маслакова, О. Кармаш, М. Люта, Н. Сибірна // Молодь і поступ біології: збірник тез доповідей XVII Міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів (м. Львів, 19–21 квітня 2021 р.). – Львів: ТОВ «Ромусполіграф», 2021. – С. 40-41.
14. Маслакова А.О. Вплив фотобіомодуляційної терапії на розвиток оксидативно-нітративного стресу в еритроцитах та плазмі крові щурів за експериментального цукрового діабету / А.О. Маслакова, О.І. Кармаш, М.Я. Люта, Н.О. Сибірна // Актуальні питання експериментальної та клінічної біохімії: матеріали науково-практичної on-line конференції з міжнародною участю (м. Харків, 01 жовтня 2021 р.).– Харків, 2021. – С. 178–180.