

ВПЛИВ НИЗЬКОІНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ ТА ЧУТЛИВІСТЬ МІКРООРГАНІЗМІВ ДО АНТИБАКТЕРІАЛЬНИХ ПРЕПАРАТІВ

В.В. Пантьо, В.І. Ніколайчук, В.І. Пантьо, А.В. Корунець*

Ужгородський національний університет,
кафедра генетики, фізіології рослин та мікробіології,
кафедра загальної хірургії з травматологією та ортопедією,
88000 Україна, м. Ужгород, вул. Щедрина, 50,
тел./факс: (032) 64-46-15,
e-mail: pantyo@mail.uzhgorod.ua;
ПМВМ «Фотоніка Плюс»,
18023 Україна, м. Черкаси, вул. Одеська, 8,
тел.: (0472) 66-15-96

УДК 579.253: 615.33:615.849.19

У статті розглядаються деякі аспекти впливу низькоінтенсивного лазерного випромінювання різних довжин хвиль на біологічні об'єкти різних рівнів організації, перш за все молекулярному та клітинному, оцінюється механізм відповіді біооб'єктів на цей вплив; звертається увага на залежність біологічного ефекту від специфіки випромінювання, передусім довжини хвилі, та специфіки об'єкту. Авторами наводяться результати досліджень по вивченню впливу низькоінтенсивного лазерного випромінювання червоного та ближнього інфрачервоного діапазонів спектру на чутливість до антибактеріальних препаратів музейного штаму золотистого стафілококу (ATCC 25923 (F-49)). Виявлено, що низькоінтенсивне лазерне випромінювання (НЛВ) як червоного, так і інфрачервоного діапазону збільшує чутливість золотистого стафілококу ATCC 25923 (F-49) до усіх антибіотиків, які були використані у досліді. Встановлено також, що ефект дії НЛВ залежить від експозиції (дозы) випромінювання.

Ключові слова: лазер, біологічний об'єкт, біологічний ефект, стафілокок, антибіотик.

Вступ

Фізичні основи взаємодії низькоінтенсивного лазерного випромінювання (НЛВ) з біологічною тканиною дуже багатогранні у деталях, багато з них залишають питання для подальшого активного їх вивчення.

Різноманітність структур біотканин визначає різний характер проходження лазерного випромінювання через них. Характер взаємодії світла із біотканиною залежить як від параметрів джерела випромінювання (довжина хвилі, інтенсивність, довжина та частота повторення імпульсів тощо), так і від параметрів біотканин (ступінь однорідності та пігментації тканини, її теплові та пружні властивості тощо).

Існує чотири типи взаємодії лазерного випромінювання з біологічною тканиною: поглинання, розсіювання, відбивання та передача [7].

Поглинання – домінуючий ефект взаємодії лазерного випромінювання з тканинами, оскільки лише поглинена частина лазерного випромінювання виявляє біологічну дію на організм.

Ступінь поглинання світла тією чи іншою біологічною тканиною визначається коефіцієнтом поглинання цієї тканини. Останній корелює з глибиною проникнення лазерного випромінювання у тканини. Чим більше поглинання світла у певному хромофорі (пігмент, вода), тим менша глибина його проникнення у біотканину.

За даними ряду вітчизняних та зарубіжних авторів [2, 10, 15], глибина проникнення НЛВ у біооб'єкт залежить від довжини хвилі випромінювання. Проникна здатність випромінювання від ультрафіолетового до червоного діапазону поступово збільшується від 1-20 мкм до 2,5 мм, з різким збільшенням глибини проникнення у червоному діапазоні до 20-30 мм. Найбільша проникна здатність відповідає ближньому інфрачервоному діапазону. У дальній інфрачервоній області спектру відбувається різке зниження проникності.

Глибина проникнення лазерного випромінювання певної довжини хвилі визначається в основному ступенем поглинання даної довжини хвилі молекулами води, які містяться у поверхневих шарах шкіри.

Випромінювання з довжинами хвиль 0,6-1,5 мкм відносно слабо поглинається молекулами води і тому досить глибоко проникає у біотканини. Таким чином, максимумами пропускання шкірою електромагнітного випромінювання збільшуються від червоної до ближньої інфрачервоної ділянки спектру (так звана прозорість біологічних тканин) [1].

Різні тканини мають різні коефіцієнти поглинання лазерного випромінювання тієї самої довжини хвилі. Так, у червоній та ближній інфрачервоній областях спектру ($\lambda = 620-1300$ нм) шкіра поглинає 25-40% лазерного випромінювання, м'язи та кісткова тканина – 30-80%, паренхімні органи (серце, печінка, нирки, підшлункова залоза, селезінка) – до 100%.

Експериментальні дані демонструють залежність поглинання лазерного випромінювання від ступеню забарвлення тканини: сильно пігментована тканина печінки поглинає випромінювання інтенсивніше за тканину м'язів.

Таким чином, спектр поглинання лазерного випромінювання визначається типом домінуючих поглинальних центрів із вмістом води у клітині та тканині. Характер дії лазерного випромінювання на клітину визначається її складом та коефіцієнтом поглинання різних довжин хвиль випромінювання [9].

Відбивання – основна причина втрати енергії лазерного випромінювання при дії на біологічний об'єкт. Для більшості внутрішніх органів коефіцієнт відбивання у видимій та ближній інфрачервоній областях спектру складає 10-30%, а відбивання очного дна змінюється від 2 до 20% для довжини хвилі 0,4-1,0 мкм. Коефіцієнт відбивання лазерного випромінювання шкірою знаходиться у межах 10-55% та залежить від спектру випромінювання, а також від ступені пігментації та зморшкватості шкіри, наявності у ній жиру та вологи, які, у свою чергу, залежать від статі, віку та кольору шкіри.

Збільшення кута падіння променя на тканину призводить до різкого зростання коефіцієнта відбивання. Останній знижується в середньому на 15% при охолодженні ділянки впливу випромінювання.

У зв'язку з тим, що біосистеми, як правило, складаються з великої кількості випадково розділених у об'ємі розсіювальних центрів, промені, які проникають до тканини частково розсіюються. Основними розсію-

вачами для більшості біотканин є клітинні мембрани, ядра та органели клітини [7].

Розсіювання випромінювання всередині біотканини залежить від негомогенних структур тканини та визначається показниками заломлення різних частинок та різницею показників заломлення між частинками та оточуючим їх середовищем. Хвилі, які мають довжину більшу за діаметр частинки (більше 10 мкм), розсіюються ними у незначній мірі.

Для більшості біотканин розсіювання – вагома складова у видимій та ближній інфрачервоній областях спектру. Для довжин хвиль 0,45-0,59 мкм розсіювання та поглинання відіграють приблизно рівноцінну роль у проникненні лазерного випромінювання крізь тканину, а для довжин хвиль 0,6-1,5 мкм розсіювання переважає над поглинанням.

Таким чином, головний ефект взаємодії лазерного випромінювання з біологічною тканиною – результат його поглинання останньою [2, 7].

Останнім часом інтенсивно розробляється концепція прямої дії НІЛВ на біооб'єкт внаслідок резонансного поглинання лазерного випромінювання на молекулярному рівні (Т. Кару, 1989). На користь цієї концепції свідчить ряд обставин.

По-перше, у дослідях *in vitro* кількісні спектроскопічні дослідження показали резонансний характер впливу НІЛВ на різні клітини в залежності від довжини хвилі випромінювання, а також дози та потужності.

По-друге, більшість ефектів низькоінтенсивної лазерної стимуляції є вторинними.

Вплив НІЛВ на молекулярному рівні. Реалізація біологічного ефекту НІЛВ починається з моменту поглинання енергетичного кванту фоточутливою біомолекулою. У біооб'єктах наявні фоточутливі акцептори, які поглинають випромінювання різних довжин хвиль. Фотобіологічною активністю володіє світло в ультрафіолетовій, видимій та ближній інфрачервоній ділянках спектру. Для кожного спектру НІЛВ існують відповідні молекули, які його найбільш інтенсивно поглинають.

Ультрафіолетове (УФ) випромінювання поглинається переважно молекулами нуклеїнових кислот, білків та ліпідів. Встановлено, що найбільшу дію УФ промені виявляють на азотисті основи нуклеїнових

кислот, що призводить до мутацій та загибелі клітин. Подібні фотохімічні реакції спостерігаються також у молекулах білків та ліпідів. В залежності від потужності УФ випромінювання такі реакції можуть проявлятися у зниженні ферментативної активності білків та функціональних властивостей клітинних мембран. Фотодеструкцію білків викликає УФ випромінювання з довжиною хвилі 290 нм, причому поглинання у ділянці 230-290 нм обумовлено наявністю у макромолекулі білка ароматичних амінокислот, а також цистину.

Світло у *видимій ділянці* спектру поглинається переважно хромофорними групами білкових молекул і частково киснем. Найбільш важлива роль тут належить гемоглобіну, меланіну, ферментам, які містять мідь та залізо (каталаза, супероксиддисмутаза), ферментам окисно-відновного циклу, цитохромам із максимумами поглинання 600 нм та 605 нм, пігментам та іншим речовинам [13].

Біологічна дія світла на живий організм пов'язана із поглинанням квантів світла певної довжини хвилі спеціальною фоторегулюючою системою, до складу якої входять пігменти групи порфіринів. Така взаємодія призводить до активації оксидантних систем із подальшою зміною структури та метаболізму РНК, ДНК, білків, що, у свою чергу, викликає зміну синтетичної активності клітин. Окрім того, існує думка, що завдяки наявності у кисню смуги поглинання поблизу 640 нм, він активно поглинає червоне світло та переходить у синглетний стан.

Кисень у синглетному стані зберігається протягом дуже короткого часу, проте є високо реактивним медіатором біологічних процесів. Вплив синглетного кисню на клітинний метаболізм відбувається через зміну рівня вільних радикалів.

Синглетний кисень призводить також до зміни міжклітинної водної структури, що сприяє кращому наповненню крові киснем. Внаслідок цього пришвидшується синтез білків, РНК, ДНК, збільшується швидкість синтезу колагену та його попередників, змінюється кисневий баланс та активність окисно-відновних процесів [5, 13].

Про наявність у клітин спектрально-залежної фоточутливості свідчать також дані досліджень [12], які довели, що максимальна стимуляція синтезу ДНК у дослідах із опроміненням клітин червоним випро-

мінюванням спостерігалась при дозі 100 Дж/см² і ефект швидко знижувався при зміні дози у будь-яку сторону.

Основним поглинаючим компонентом при опроміненні біологічних тканин *інфрачервоним (ІЧ) лазерним випромінюванням* із довжиною хвилі 890 нм (ближній інфрачервоний діапазон) є кров.

Механізм дії ІЧ лазерного випромінювання (0,8-1,4 мкм) визначається його низькою енергією, нездатністю викликати виражений фотохімічний ефект. При поглинанні тканинами ІЧ випромінювання перетворюється у теплову енергію вібрації молекул. Як наслідок різкого теплового розширення протоплазми клітин може виникнути гідродинамічний удар, який є вихідним імпульсом більш загальної дії ІЧ випромінювання. Внаслідок перебігу даних процесів різні біологічні сполуки переходять у активний стан або інактивуються. Встановлено, що світло у ближній ІЧ ділянці спектру слабо поглинається меланіном, водою та іншими компонентами тканин, що обумовлює його високу проникність.

Механізми реалізації біостимулюючого ефекту НЕЛВ на клітинному рівні.

Деякі автори [12] виділяють *первинні* (відбуваються безпосередньо під час опромінення) та *вторинні* (темнові) механізми впливу НЕЛВ на клітину.

До *первинних механізмів* дії світла на клітину відносять:

- прискорення переносу електронів по дихальному ланцюгу завдяки зміні редокс-властивостей його компонентів при фотозбудженні їх електронних станів;
- звільнення монооксиду нітрогену (NO), який є модулятором активності цитохром-с-оксидази;
- збільшення концентрації супероксидного аніона внаслідок активації дихального ланцюга;
- посилення генерації синглетного кисню;
- індукована локальним нагрівом хромофорів зміна біохімічної активності.

Локальне короткочасне підвищення температури біомолекул, які поглинають світло, може викликати структурні (конформаційні) зміни та запускати такі біохімічні процеси, як активація або інгібування ферментів. Лазерне випромінювання здатне призводити до суттєвої неоднорідності температурного градієнту в тканинах, особливо

на рівні однієї клітини та її органел. Це може помітно впливати на константи швидкості біохімічних реакцій, призводити до деформації клітинних мембран, зміни їх електричних потенціалів тощо.

Вторинні (темнові) клітинні механізми реалізуються після поглинання світла у мітохондріях та не потребують подальшої активації світлом. Вторинні реакції пов'язані з короткочасною зміною у параметрах клітинного гомеостазу. До них належать:

- збільшення внутрішньоклітинної концентрації АТФ;
- активація Na^+ , K^+ - АТФ-ази;
- збільшення внутрішньоклітинної концентрації Ca^{2+} ;
- зміна концентрації цАМФ;
- активація трансмембранних йонних потоків;
- деполяризація клітинної мембрани.

Існує декілька груп теорій, які намагаються пояснити механізм дії НЛВ на клітинному рівні.

Згідно з *першою групою теорій (біофізичною)*, вважається, що лазерне випромінювання (електромагнітні хвилі) взаємодіє з електричними полями клітин, і фотоефект обумовлюється первинним поглинанням кванта світла молекулою-акцептором та переходом її у збуджений стан. При цьому виникає різниця потенціалів між ділянками об'єкту, який опромінюється, а фотоефекторушійна сила активує фізіологічні процеси.

Згідно з *другою групою теорій (фізичного та біохімічного рівнів впливу)* вважається, що механізм дії пов'язаний у першу чергу з фотоакцепцією ферментами (каталазою, цитохромоксидазним комплексом, нікотинамідфосфат(НАД)-оксидазою, глутатіон-S-трансферазою, глутатіонпероксидазою, дегідрогеназою, фосфатазою, НАДФ-дегідрогеназами), або речовинами, які містять у своєму складі йони металів (церулоплазміном, порфірином, гемоглобіном). Енергія лазерного випромінювання первинно поглинається цими ферментами, які переходять в активний стан і запускають систему антипероксидного захисту (АПЗ).

Експериментальні дані свідчать про те, що під дією випромінювання гелій-неонового лазера ($\lambda = 632,8$ нм, червоний діапазон спектру) підвищується ефективність ферментів антиоксидантної системи: суперок-

сидисмутази, каталази, глутатіонпероксидази, глутатіонредуктази [10, 11].

Третя група теорій (молекулярно-структурних змін клітинних мембран) уточнює локалізацію впливу, який описується гіпотезами другої групи. Існує два механізми дії лазера на плазматичну мембрану: акцепція та рецепція квантів світла.

Експериментально виявлені зміни проникності та структурного стану мембран лізосом, сітківки ока, нейронів, мікросом, мітохондрій, під впливом гелій-неонового лазера.

Біостимулюючий ефект інфрачервоного лазерного випромінювання ряд авторів пояснюють локальним збільшенням температури клітинних мембран [1, 5]. При цьому виникає градієнт температури у навколосмембранних ділянках. Це викликає термодифузійний відтік йонів калію та натрію від мембрани. При цьому, зокрема, збільшується довжина екранування мембранного потенціалу. Останнє призводить до розкриття білкових каналів, які обумовлюють активний транспорт йонів та полярних молекул, посилює процеси ендоцитозу. Внаслідок термодифузійного відтоку йонів Na^+ та K^+ змінюється електрохімічний баланс, підвищується енергія клітини.

Ефект оптичної термодифузійної активації, можливо, притаманний також лазерному випромінюванню видимого діапазону, оскільки при використанні гелій-неонового лазерного випромінювання відмічається підвищення електрокінетичного потенціалу мембрани еритроцитів, яке супроводжується активацією натрієвих насосів. При цьому проходить ліквідація прихованого енергетичного дефіциту клітини [4].

Протягом усієї своєї історії людство потерпало від різноманітних інфекційних захворювань, які будучи однією з провідних причин смертності забрали мільйони людських життів. Навіть після встановлення того, що інфекцію викликають хвороботворні мікроорганізми, тривалий час не існувало ефективних засобів для їх лікування.

Прогрес у лікуванні інфекційних захворювань настав лише тоді, коли вчені навчились використовувати у своїх цілях таке явище, як антибіоз (антагонізм) бактерій. Останній полягає у тому, що бактерії, як і інші живі істоти, змушені вести між собою боротьбу за існування. Основною зброєю у цій боротьбі є спеціальні речовини,

які виробляються одними видами бактерій та згубно впливають на інші види. Саме ці речовини називають антибіотиками [8].

У 1929 році англійський мікробіолог А. Флемінг відкрив перший антибіотик – пеніцилін. Це стало одним із найбільш видатних відкриттів ХХ століття, яке ознаменувало початок нової ери у біології та медицині – ери антибіотиків.

Проте, дуже швидко виявилось, що святкувати перемогу над хвороботворними мікроорганізмами зарано – перемога людини над природою виявилась ілюзорною. Більше того, питання боротьби людини та мікроорганізмів набуло несподіваної драматичної гостроти.

Масове та безконтрольне, а часто і неправильне використання антибіотиків, яке має місце протягом останніх десятиліть, призвело до прискорення мутацій та виникнення стійких бактерій у небачених раніше масштабах [14].

Процес збільшення стійких штамів мікроорганізмів до антибіотиків, які широко використовуються у клініці, погіршив результати лікування зокрема стафілококових інфекцій. Проблему ускладнює розповсюдження стійкості до фармакологічних чинників та можливість переносу її позачромосомними елементами (R-факторами) не лише в межах одного виду, а й на інші види бактерій [3, 6].

Через це вчені почали акцентувати увагу на альтернативних методах боротьби з інфекційними агентами, серед яких певне місце посідає і використання фізичних факторів, зокрема лазерного випромінювання.

Дія лазерного (монохроматичного) випромінювання на клітини та тканини значно перевищує дію звичайного білого (сонячного) світла. Враховуючи, що живі організми та біосфера загалом є не ізольованими, а відкритими системами, які обмінюються енергією та речовиною, можна стверджувати, що за оптимального дозування лазерного випромінювання відбувається відповідне енергетичне підкачування клітин та організму в цілому [7].

Матеріали та методи

Об'єкт дослідження – золотистий стафілокок (*Staphylococcus aureus*), виявлений Р. Кохом, виділений із гною фурункула Л. Пастером (1880), описаний як збудник

багатьох гнійних процесів. Стафілококи – рід мікроорганізмів, в межах якого налічується 27 видів, при цьому 14 видів знайдено на шкірі та слизових оболонках людини.

Стафілококи характеризуються порівняно високою чутливістю до висушування, заморожування, дії сонячного світла та хімічних речовин (у висушеному стані життєздатні більше шести місяців, у пилюці – 50-100 днів). Повторне заморожування та розморожування не вбиває стафілококів [3].

При дії прямих сонячних променів стафілококи не гинуть протягом багатьох годин. Стафілококова інфекція може витримувати нагрівання при температурі 70°C більше години. При температурі 80°C стафілококи гинуть через 10-60 хвилин, від кип'ятіння – миттєво; 5% розчин фенолу вбиває стафілококів протягом 15-30 хвилин [6].

Досліджувалась чутливість до антибіотиків музейного штаму золотистого стафілококу ATCC 25923 (F-49) диско-дифузійним методом та методом серійних розведень до та після опромінення НІЛВ. Після опромінення, чутливість культури до тих самих антибіотиків визначали шляхом пересіву на поживне середовище для визначення вразливості мікроорганізмів до антибіотиків (середовище АГВ/AGV) із наступним нанесенням мембранних дисків.

Паралельно визначали чутливість до антибіотиків опроміненої та контрольної культур, висіяних у цукровий бульйон, методом серійних розведень. При цьому виділяли останню пробірку із повною затримкою росту мікроорганізмів. Концентрація антибіотиків у цій пробірці є мінімальною інгібуючою концентрацією (МІК) для досліджуваного штаму і визначає ступінь його чутливості до даного антибіотика.

Джерелами червоного (довжина хвилі 635 нм, потужність 15 мВт) та інфрачервоного (довжина хвилі 870 нм, потужність 15 мВт) лазерного випромінювання був вітчизняний лазерний терапевтичний апарат «Ліка-терапевт». Використовували експозиції 3, 6 та 10 хвилин. Важливо відзначити, що під час опромінення мікроорганізми перебували на початку логарифмічної (експоненціальної) фази росту.

Чутливість мікрофлори визначалась до слідуючих антибактеріальних препаратів: цефатаксим, ампіцилін, оксацилін, гентаміцин.

Результати та їх обговорення

Внаслідок проведених досліджень виявлено значні зміни чутливості до антибіотиків об'єкту дослідження. При оцінюванні результатів досліду, який проводили методом дифузії в агар, визначали діаметр зон затримки росту музейного штаму золотистого стафілококу ATCC 25923 (F-49) навколо дисків, включаючи діаметр самого диску. Після опромінення НІЛВ червоного та інфрачервоного діапазонів дані зони збільшувалися, а їхні розміри залежали від експозиції опромінення. Максимальний ефект спостерігався при трихвилинному опроміненні (таблиця 1).

Так, чутливість опроміненої червоном НІЛВ (при експозиції 3 хвилини) культури

стафілококу до цефатаксіму зросла у понад 1,2 рази, а до гентаміцину – у 1,3 рази. Відзначали також значне збільшення чутливості опроміненої мікрофлори до напівсинтетичних антибіотиків пеніцилінового ряду – оксациліну та ампіциліну. Зокрема, трихвилинне опромінення червоном НІЛВ досліджуваного штаму золотистого стафілококу підвищило його чутливість до оксациліну у 1,25 рази, а до ампіциліну – майже у 1,6 разів порівняно з контролем.

При використанні червоного та інфрачервоного лазерів отримані схожі результати, які несуттєво відрізнялися один від одного. Різниця діаметрів зон затримки росту опроміненої та контрольної культур статистично достовірна.

Таблиця 1

Діаметр (мм, $M \pm m$) зон затримки росту при лазерному опроміненні культури *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (F-49)

Антибіотик	Контроль (n = 20)	Експозиція 3 хвилин (n = 20)		Експозиція 6 хвилин (n = 20)		Експозиція 10 хвилин (n = 20)	
		червоний лазер	інфрачерв. лазер	червоний лазер	інфрачерв. лазер	червоний лазер	інфрачерв. лазер
Цефатаксім	23,7±0,2	29,5±0,5 ($P_1 < 0,05$)	29,9±0,4 ($P_1 < 0,001$)	27,1±0,4 ($P_2 < 0,05$)	26,4±0,5 ($P_2 < 0,05$)	25,1±0,3 ($P_3 < 0,05$)	24,3±0,2 ($P_3 > 0,05$)
Ампіцилін	19,1±0,3	30,6±0,6 ($P_1 < 0,001$)	26,2±0,3 ($P_1 < 0,05$)	27,8±0,3 ($P_2 < 0,05$)	24,7±0,3 ($P_2 > 0,05$)	25,5±0,4 ($P_3 < 0,05$)	22,1±0,2 ($P_3 > 0,05$)
Гентаміцин	21,8±0,4	28,5±0,3 ($P_1 < 0,001$)	26,4±0,5 ($P_1 < 0,05$)	26,3±0,4 ($P_2 < 0,05$)	25,7±0,2 ($P_2 < 0,05$)	23,3±0,2 ($P_3 > 0,05$)	22,6±0,3 ($P_3 > 0,05$)
Оксацилін	22,2±0,2	26,6±0,4 ($P_1 < 0,05$)	26,1±0,4 ($P_1 < 0,05$)	23,6±0,2 ($P_2 > 0,05$)	25,2±0,3 ($P_2 < 0,05$)	22,6±0,3 ($P_3 > 0,05$)	23,4±0,2 ($P_3 > 0,05$)

Примітка: P_1 – достовірність різниці між 3-хвилинною експозицією та контролем; P_2 – достовірність різниці між 6-хвилинною експозицією та контролем; P_3 – достовірність різниці між 10-хвилинною експозицією та контролем.

Оцінюючи результати дослідів, які проводили методом серійних розведень ми виявили, що МІК оксациліну знизилася з 0,5 мкг/мл у контрольній культурі золотистого стафілококу до 0,25 мкг/мл в опроміненій культурі.

Висновки

1. Взаємодія НІЛВ з біологічними об'єктами специфічна, при цьому специфічність лазерного ефекту визначається передусім довжиною хвилі випромінювання.

2. Реалізація біоефекту НІЛВ починається з моменту поглинання енергетичного кванту фоточутливою біомолекулою.

3. Для кожної довжини хвилі НІЛВ існують молекули, які найбільш ефективно його поглинають.

4. Відповідь субклітинних структур та клітини на дію НІЛВ являє собою інтегральну, цілісну реакцію.

5. НІЛВ, як червоного, так і інфрачервоного діапазону, збільшує чутливість золотистого стафілококу ATCC 25923 (F-49) до антибіотиків.

6. Ефект впливу НІЛВ є дозозалежним.

Література

1. Бриль Г.Е. Молекулярно-клеточные основы терапевтического действия низкоинтенсивного лазерного излучения. – Саратов, 2000.
2. Дорофеев Д.А. Чувствительность штаммов золотистого стафилококка к антибиотикам у детей с различным количеством лимфоцитов // Украинський медичний альманах. – 2005 – № 4 – С. 58–59.
3. Зубкова С.М. О механизме биологического действия излучения гелий-неонового лазера // Биологические науки. – 1987. – № 7. – С. 30-37.
4. Кадников О.Г. Изучение воздействия излучения лазера на проводимость биомолекулярных фосфолипидных мембран / О.Г. Кадников, В.В. Товстях // Проблемы биоэнергетики организма и стимуляции лазерным излучением. – Алма-Ата, 1976. – С. 25.
5. Коротаев А.И. Медицинская микробиология, иммунология и вирусология / А.И. Коротаев, С.А. Бабичев. – СПб., 2002. – 591 с.
6. О механизме общестимулирующего действия лазерного излучения / Н.А. Богуш, В.А. Мостовников, С.И. Мохорева и др. // Докл. АН БССР. – 1977. – Т. 21, № 8. – С. 759-762.
7. Попов В.Д. Современные аспекты квантовой терапии в клинической медицине. – К., 1996. – 133 с.
8. Сазыкин Ю.О. Антибиотики как ингибиторы биохимических процессов. – М.: Наука, 1968. – 448 с.
9. Самойлов М.Г. Сучасний стан проблеми дослідження механізму дії низькоінтенсивного лазерного випромінювання // Фотобіологія та фотомедицина. – 2000. – № 1 - 2. – С. 76 - 83.
10. Тучин В.В. Основы взаимодействия низкоинтенсивного лазерного излучения с биотканями: дозиметрический и диагностический аспекты // Известия Академии наук, серия физическая. – 1995. – Т. 59, № 6. – С. 120-143.
11. Шульгина Н.С. Функциональное состояние лимфоидных клеток после облучения низкоинтенсивным лазерным излучением / Н.С. Шульгина, П.П. Чегин, А.П. Привалов // Применение средств и методов лазерной техники в биологии и медицине. – К., 1981. – С. 176-178.
12. Generation of free radicals and/or active oxygen by light or laser radiation in pigment-free aerobic systems / M. Kashima-Tanaka, Y. Tsujimoto, K. Kawamoto et al. // J. Endod. – 2003. – Vol. 29, № 2. – P. 141-143.
13. Karu T.I. Photobiology of low-power laser therapy. – London: Harwood, Acad. Publ., 1989.
14. Sarda J. N. Antibiotic prophylaxis in surgery. // Med. Clin. (Barc.). — 1994. — Vol. 102, № 1. — P. 38 - 40.
15. Oshiro T. Low level laser therapy: a practical introduction / T. Oshiro, R.G. Calderhead. – New-York: Chichester, 1988.

ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ К АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫМ ПРЕПАРАТАМ

В.В. Пантьо, В.И. Николайчук, В.И. Пантьо, А.В. Корунец
Ужгородский национальный университет,
кафедра генетики, физиологии растений и микробиологии,
кафедра общей хирургии с травматологией и ортопедией,
88000 Украина, г. Ужгород, ул. Щедрина, 50,
тел./факс: (032) 64-46-15,
e-mail: pantyo@mail.uzhgorod.ua;
**ЧМПП «Фотоника Плюс»,*
18023 Украина, ул. Одесская, 8,
тел.: (0472) 66-15-96

В статье рассматриваются некоторые аспекты влияния низкоинтенсивного лазерного излучения разных длин волн на биологические объекты различных уровней организации, прежде всего молекулярном и клеточном, оценивается механизм ответа биообъектов на это влияние; обращается внимание на зависимость биологического эффекта от специфики излучения, прежде всего длины волны, и специфики объекта. Авторами приводятся результаты исследований по изучению влияния низкоинтенсивного лазерного излучения красного и ближнего инфракрасного диапазонов спектра на чувствительность к антибактериальным препаратам музейного штамма золотистого стафилококка (ATCC 25923 (F-49)). Обнаружено, что низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ), как красного, так и инфракрасного диапазона, увеличивает чувствительность золотистого стафилококка ATCC 25923 (F-49) ко всем антибиотикам, использованным в исследованиях. Установлено также, что на эффект действия НИЛИ влияет экспозиция (доза) излучения.

Ключевые слова: *лазер, биологический объект, биологический эффект, стафилококк, антибиотик.*

*THE INFLUENCE OF LOW-INTENSIVE LASER RADIATION ON BIOLOGICAL OBJECTS AND SENSIBILITY
TO ANTIBACTERIAL AGENTS*

V.V. Pantyo, V.I. Nikolaychuk, V.I. Pantyo.

Uzhgorod National University,

Department of Genetics, Phytophysiology and Microbiology,

Department of General Surgery with Traumatology year,

88000 Ukraine, Uzhgorod, Shchedrina Srt., 50,

tel/fax (0312) 644-615,

e-mail: pantyo@mail.uzhgorod.ua;

**PSPE «Fotonika Plus»,*

18023 Ukraine, Cherkassy, Odesskaya Str., 8,

tel.: (0472) 66-15-96

In issue are examined some aspects of the influence of the low-intensive laser radiation of different wavelength on biological objects of different levels of organization, primary molecular and cell; the mechanism of response of biological objects on this influence is estimated; attention applies on dependence of biological effects on the specific of radiation, foremost wavelength and on specifics of object. The authors presents results of researches, devoted to study of influence of the low-intensive laser radiation of red and near infrared spectrum on sensibility of museum strain of the Staphylococcus aureus (ATCC 25923 (F-49)) to antibacterial agents. Explored, that low-intensive laser radiation (LILR) of red and infrared spectrum increase sensibility of the Staphylococcus aureus ATCC 25923 (F-49) to all antibiotics used in researches. Also revealed that exposure dose has an influence on the effect of the LILR.

Key words: *laser, biological object, biological effect, staphylococcus, antibiotic*