

ВПЛИВ КОГЕРЕНТНОГО ТА НЕКОГЕРЕНТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ РОСТУ УМОВНО-ПАТОГЕННИХ МІКРООРГАНІЗМІВ

Валерій ПАНТЬО¹, Ельвіра ДАНКО², Майя КАРАБИНЬОШ³

З моменту впровадження антибактеріальних препаратів у клінічну практику було врятовано безліч людських життів. Проте, внаслідок здатності мікроорганізмів адаптуватися та набувати стійкості до протимікробних засобів, відзначається тенденція до зниження ефективності антибактеріальної терапії. Незважаючи на численні підходи до вирішення даної проблеми, поширення стійких штамів не має ознак сповільнення, що робить антибіотикорезистентність невирішеною глобальною проблемою людства. Застосування немедикаментозних методів, зокрема низькоінтенсивного випромінювання видимого спектру у боротьбі зі стійкими мікроорганізмами вирізняється низкою переваг та майже повною відсутністю протипоказань, що робить цей підхід одним із найперспективніших у подоланні антимікробної резистентності. Досліджено вплив низькоінтенсивного лазерного випромінювання та PILER випромінювання червоного спектру при щільності потужності 40 мВт/см² на інтенсивність росту клінічних ізолятів *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* та *Enterococcus faecalis* на щільних поживних середовищах. Встановлено, що низькоінтенсивне лазерне та PILER-випромінювання володіє впливом на інтенсивність росту досліджуваних штамів. Виявлений ефект має дозозалежний характер: короткотривалі експозиції індують стимуляцію росту мікроорганізмів, тоді як 20-хвилинне опромінення забезпечує виражену протимікробну активність. Аналіз антимікробної активності низькоінтенсивного лазерного та PILER-випромінювання засвідчив їх подібну ефективність. Враховуючи доведений біостимулюючий вплив низькоінтенсивного випромінювання червоного спектру на організм людини, низькоінтенсивне лазерне випромінювання з довжиною хвилі 660 нм та PILER-випромінювання з червоним світлофільтром можуть бути рекомендовані для комплексної терапії широкого кола гнійно-запальних процесів, зумовлених умовно-патогенними мікроорганізмами.

Ключові слова: антибіотикорезистентність, опоруністичні мікроорганізми, низькоінтенсивне випромінювання, протимікробна дія.

¹Кафедра мікробіології, вірусології, епідеміології з курсом інфекційних хвороб, Ужгородський національний університет, пл. Народна, 1, Ужгород, 88000, Україна; e-mail: valerij.pantyo@uzhnu.edu.ua

²Кафедра терапевтичної стоматології, Ужгородський національний університет, вул. Університетська, 16а, Ужгород, 88000, Україна; e-mail: elvira.danko@uzhnu.edu.ua

³Медичний факультет, Ужгородський національний університет, пл. Народна, 1, Ужгород, 88000, Україна; e-mail: mf.karabynosh.maiia@student.uzhnu.edu.ua

Пантьо В.: <https://orcid.org/0000-0002-0207-3372>

Данко Е.: <https://orcid.org/0000-0002-3997-9311>

Карабиньош М.: <https://orcid.org/0009-0003-5514-479X>

The effect of coherent and non-coherent radiation on the growth intensity of opportunistic microorganisms

Pantyo V.¹, Danko E.², Karabynosh M.³

Since the introduction of antibacterial drugs into clinical practice, countless human lives have been saved. However, due to the ability of microorganisms to adapt and acquire resistance to antimicrobial agents, there is a noticeable trend of decreasing effectiveness of antibacterial therapy. Despite numerous approaches aimed at solving this problem, the spread of resistant strains shows no signs of slowing down, making antibiotic resistance an unresolved global challenge for humanity. The use of non-pharmacological methods, particularly low-intensity radiation of the visible spectrum, in combating resistant microorganisms offers a number of advantages and is characterized by an almost complete absence of contraindications, making this approach one of the most promising in overcoming antimicrobial resistance. The effect of low-intensity laser radiation and PILER red-spectrum radiation at a power density of 40 mW/cm² on the growth intensity of clinical isolates of *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, and *Enterococcus faecalis* on solid nutrient media was investigated. It was found that low-intensity laser and PILER radiation have an effect on the growth intensity of the studied strains. The

observed effect is dose-dependent: short-term exposures induce stimulation of microbial growth, whereas 20-minute irradiation provides a pronounced antimicrobial effect. The analysis of the antimicrobial activity of low-intensity laser and PILER radiation demonstrated their comparable effectiveness. Considering the proven biostimulatory effect of low-intensity red-spectrum radiation on the human body, low-intensity laser radiation with a wavelength of 660 nm and PILER radiation with a red light filter can be recommended for the complex therapy of a wide range of purulent-inflammatory conditions caused by opportunistic microorganisms.

Key words: antibiotic resistance, opportunistic microorganisms, low-intensity radiation, antimicrobial activity.

¹Department of Microbiology, Virology, Epidemiology with a course of infectious diseases, Uzhhorod National University, 1, Narodna Sq., Uzhhorod, 88000, Ukraine; e-mail: valerij.pantyo@uzhnu.edu.ua

²Department of Therapeutic Dentistry, Uzhhorod National University, 16a, University Str., Uzhhorod, 88000, Ukraine; e-mail: elvira.danko@uzhnu.edu.ua

³Faculty of Medicine, Uzhhorod National University, 1, Narodna Sq., Uzhhorod, 88000, Ukraine; e-mail: mf.karabynosh.maiia@student.uzhnu.edu.ua

Pantyo V.: <https://orcid.org/0000-0002-0207-3372>

Danko E.: <https://orcid.org/0000-0002-3997-9311>

Karabynosh M.: <https://orcid.org/0009-0003-5514-479X>

Вступ

Антибіотики відіграють ключову роль у лікуванні та контролі інфекційних захворювань, спричинених патогенними бактеріями. Однак їх надмірне споживання та неправильне застосування призвели до значного зростання рівня резистентності мікроорганізмів. Стійкі мікроорганізми спричиняють інфекції, які важче та дорожче лікувати, крім того, мультирезистентні штами щороку стають причиною сотень тисяч смертей (Banin et al. 2017; Cella et al. 2023).

Серед значної кількості підходів до вирішення глобальної проблеми антимікробної резистентності, внаслідок наявності ряду переваг, особливу увагу привертають немедикаментозні засоби, зокрема застосування низькоінтенсивного випромінювання видимого спектру. Використання низькоінтенсивного лазерного випромінювання для зменшення болю, запалення та набряку, для стимулювання загоєння ран глибоких тканин і нервів, а також для запобігання ушкодженню тканин відоме з часу винайдення лазерів (Mester et al. 1968; Farivar et al. 2014). Перспективним напрямом використання низькоінтенсивного лазерного випромінювання є застосування його як доповнення та, навіть, альтернативи традиційній антибіотикотерапії (Barbieri et al. 2019).

Механізм впливу низькоінтенсивного випромінювання на біологічні об'єкти ґрунтується на підвищенні життєздатності клітин, швидкості їх проліферації, а також на відновленні пошкодженої ДНК та збереженні її цілісності (Musstaf et al. 2019).

Незважаючи на широке використання низькоінтенсивного випромінювання майже у всіх галузях медицини з метою комплексної фототерапії та фотодинамічної терапії широкого кола пато-

логічних процесів, певні питання механізму безпосереднього впливу низькоінтенсивного випромінювання на мікробні клітини залишаються відкритими.

Метою роботи було дослідити ступінь впливу низькоінтенсивного лазерного випромінювання та поляризованого некогерентного випромінювання червоного спектру на інтенсивність росту умовно-патогенних мікроорганізмів та встановити залежність біологічної дії низькоінтенсивного випромінювання від його дози.

Матеріал та методи

Досліджено вплив низькоінтенсивного лазерного випромінювання (НІЛВ) з довжиною хвилі 660 нм та PILER випромінювання (Polarized incoherent low-energy radiation – поляризоване некогерентне низькоінтенсивне випромінювання) з червоним світлофільтром ($\lambda = 570\text{--}660$ нм) на інтенсивність росту клінічних ізолятів *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* та *Enterococcus faecalis*, виділених із пародонтальних кишень хворих на хронічний генералізований пародонтит. Для цього брали добові агарові культури мікроорганізмів, за допомогою денситометра (DEN-1, Biosan, Латвія, 2016) доводили до оптичної густини 0,5 за Мак-Фарландом ($1,5 \times 10^8$ КУО/мл) та розводили у $1,25 \times 10^5$ разів. Таким чином, кінцева концентрація завису мікроорганізмів становила близько $1,2 \times 10^3$ КУО/мл. Щоб дослідити вплив низькоінтенсивного випромінювання різних тривалостей експозицій – 5 та 20 хвилин при щільності потужності 40 мВт/см² – досліджувані мікроорганізми було поділено на кілька груп. Стандартизовану суспензію мікроорганізмів першої (контрольної) групи пересівали на чашки Петрі з поживним середови-

щем. Мікроорганізми другої групи було поділено на дві підгрупи: 2 А та 2 Б. Інокулюм 2 А групи опромінювали НІЛВ з довжиною хвилі 660 нм при тривалості експозиції 5 хвилин; мікробний інокулюм 2 Б групи опромінювали PILER випромінюванням з червоним світлофільтром аналогічної тривалості експозиції. 3 групу мікроорганізмів також було поділено на дві підгрупи: 3 А та 3 Б, які було опромінено 20-хвилинними експозиціями НІЛВ та PILER, відповідно. Після пересіву на чашки Петрі, мікроорганізми всіх груп культивували у термостаті при 37 °С протягом 24 годин. Об'єм мікробної суспензії, яку пересівали, становив 10 мкл. Інтенсивність росту мікробних ізолятів визначали шляхом підрахунку кількості колоній на чашках Петрі.

Опромінення стандартизованого мікробного інокулюму PILER випромінюванням проводили у чашках Петрі діаметром 50 мм з відстані 50 мм (рис. 1А). Опромінення суспензії мікроорганізмів НІЛВ також здійснювали в чашках Петрі діаметром 50 мм з відстані 50 см, фігура сканування – «коло, яке збігається в точку» (рис. 1Б). Об'єм інокулюму мікроорганізмів, який опромінювали становив 1 мл.

Джерело PILER випромінювання – апарат Bioptron “MedAll” (Bioptron light therapy system by Zepter Group, Швейцарія). Джерелом НІЛВ слу-

гував скануючий двоканалний апарат «Медик 2К» виробництва підприємства «Фотоніка плюс», м. Черкаси.

Ідентифікацію мікроорганізмів проводили за загальноприйнятими методиками із застосуванням бактеріоскопічного та бактеріологічного методів. Остаточну ідентифікацію чистих культур проводили за допомогою тест-систем STAPHYtest 16, ENTEROtest 24, та CANDIDAtest 21 («PLIVA-Lachema a.s.», Чеська Республіка).

Отримані дані щодо кількості колоній мікроорганізмів різних груп на чашках Петрі були статистично опрацьовані для визначення середнього арифметичного ($\bar{x}$) та стандартного відхилення (SD) вибірок. Для визначення значущості відмінностей між контрольною та експериментальною групами було використано програму ANOVA (дисперсійний аналіз). Відмінності вважалися статистично значущими при $p < 0,05$.

Результати та обговорення

Кількісні дані інтенсивності росту досліджуваних штамів мікроорганізмів після пересіву на чашки Петрі представлено в таблиці 1.

5-хвилинне опромінення мікробного інокулюму клінічних ізолятів *S. aureus* НІЛВ червоного спектру не зумовлювало статистично достовірної зміни інтенсивності їх росту, порівняно з контро-



Рис. 1. Опромінення інокулюму мікроорганізмів PILER випромінюванням (А) та низькоінтенсивним лазерним випромінюванням (Б)

Fig. 1. Irradiation of microbial inoculum by PILER (A) and low-power laser radiation (B)

Таблиця 1. Кількість колоній мікроорганізмів на щільних поживних середовищах ($x \pm SD$; $n = 5$)Table 1. The number of microbial colonies on solid nutrient media ($x \pm SD$; $n = 5$)

Вид мікроорганізмів	Група 1 (контроль)	Група 2		Група 3	
		Група 2 А (НІЛВ 5 хв)	Група 2 Б (PILER 5 хв)	Група 3 А (НІЛВ 20 хв)	Група 3 Б (PILER 20 хв)
<i>Staphylococcus aureus</i>	30,4 $\pm$ 5,6	36,2 $\pm$ 6,1	37,0 $\pm$ 7,1	17,6 $\pm$ 5,1	18,4 $\pm$ 5,1
<i>Candida albicans</i>	26,8 $\pm$ 6,0	30,6 $\pm$ 7,3	28,8 $\pm$ 4,8	15,0 $\pm$ 4,4	15,6 $\pm$ 5,9
<i>Escherichia coli</i>	37,8 $\pm$ 5,7	42,4 $\pm$ 5,9	41,2 $\pm$ 8,1	23,8 $\pm$ 7,0	24,8 $\pm$ 5,2
<i>Klebsiella pneumonia</i>	40,8 $\pm$ 6,4	45,4 $\pm$ 6,8	46,8 $\pm$ 4,3	25,6 $\pm$ 4,9	23,8 $\pm$ 7,3
<i>Enterococcus faecalis</i>	45,6 $\pm$ 12,0	49,0 $\pm$ 13,9	52,0 $\pm$ 16,6	24,6 $\pm$ 5,9	26,4 $\pm$ 8,6

лем ($p = 0,1556$). Аналогічну закономірність відзначали і при 5-хвилинній експозиції PILER випромінюванням ($p = 0,1414$). 20-хвилинне опромінення досліджуваних штамів *S. aureus* НІЛВ та PILER зумовлювало зниження інтенсивності їх росту порівняно з контролем, в середньому, на 42,1 % ($p = 0,0054$) та 39,5 % ($p = 0,0077$) відповідно.

5-хвилинне опромінення клінічних ізолятів *C. albicans*, *E. coli*, *K. pneumonia* та *E. faecalis* як НІЛВ, так і PILER також не зумовлювало статистично достовірної зміни інтенсивності їх росту, порівняно з контролем ($p \leq 0,1199$). 20-хвилинне опромінення стандартизованого інокулюму вказаних штамів НІЛВ червоного спектру зумовлювало зменшення інтенсивності їх росту в середньому на 37-46,1 %, порівняно з контрольними (неопроміненими) культурами ($p \leq 0,0029$). Аналогічне опромінення PILER з червоним світлофільтром зумовлювало зниження інтенсивності росту мікроорганізмів 3 Б групи в середньому на 34,4-42,1 %, порівняно з контрольною групою ($p \leq 0,0196$).

Порівнюючи вплив НІЛВ та PILER випромінювання червоного спектру при щільності потужності 40 мВт/см² на інтенсивність росту умовно-патогенних мікроорганізмів, відзначимо їх подібність ($p \leq 0,6587$). Вище зазначене може свідчити про те, що основними параметрами низькоінтенсивного випромінювання, які зумовлюють вплив на біологічні властивості мікроорганізмів, є довжина хвилі та щільність потужності, тоді як когерентність та поляризація не зумовлюють суттєво вираженого ефекту на біологічні об'єкти.

Відповідно до літературних даних, протимікробний ефект низькоінтенсивного випромінювання видимого спектру зумовлений прямим впливом на бактеріальну мембрану. Порушення роботи мембрани відбувається внаслідок поглинання фотонів ендегенними хромофорами з одночасним утворенням високореактивних та цитотоксичних молекул (Dixit et al. 2019).

Отримані результати дозозалежного ефекту впливу співставні як з власними попередніми

дослідженнями впливу світлодіодного (Pantyo et al. 2018a) та PILER (Pantyo et al. 2018b) випромінювання, так і з даними ряду авторів (Musstaf et al. 2019, de Souza da Fonseca et al. 2021). При цьому результати дослідження впливу низькоінтенсивного випромінювання на біоплівкоутворення мікроорганізмів, а також на вже сформовані біоплівки (Grzech-Leśniak et al. 2024, Pantyo et al. 2024, Pantyo et al. 2025) показали майже повну відсутність будь-яких ефектів на вказані процеси. Разом з тим, відповідно до даних певних досліджень (Pousty et al. 2024), високоінтенсивне короткохвильове випромінювання здатне ефективно руйнувати мікробні біоплівки. Окрім того, доведено, що нетривалі експозиції низькоінтенсивного випромінювання червоного спектру підвищують чутливість мікроорганізмів до антибіотиків та новосинтезованих хімічних речовин (Pantyo et al. 2024, Percival et al. 2015). Вказаний ефект може бути зумовлений певним стимулюючим ефектом нетривалих експозицій низькоінтенсивного випромінювання на ріст мікроорганізмів, які є більш чутливими як до фізичних, так і до хімічних факторів в період активного росту та розмноження.

Висновки

Низькоінтенсивне лазерне випромінювання з довжиною хвилі 660 нм, а також PILER випромінювання з червоним світлофільтром ($\lambda = 570-660$ нм) при щільності потужності 40 мВт/см² зумовлюють виражений вплив на інтенсивність росту досліджуваних клінічних ізолятів *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia* та *Enterococcus faecalis*. Ефект впливу випромінювання є дозозалежним та у певних серіях досліджень проявлявся стимулюючим впливом, або відсутністю впливу на ріст мікроорганізмів при короткотривалих експозиціях та протимікробній дії при застосуванні 20-хвилинних експозицій. Так, 20-хвилинне опромінення стандартизованого інокулюму клінічних штамів

умовно-патогенних мікроорганізмів когерентним та некогерентним випромінюванням червоного спектру знижувало інтенсивність їх росту в середньому на 34,4-49,5 %, порівняно з контрольними – неопроміненими – культурами.

Враховуючи позитивний вплив низькоінтенсивного випромінювання червоного спектру на

регенеративні, мікроциркуляторні процеси, його загальнозміцнюючий вплив на організм в цілому, НІЛВ з довжиною хвилі 660 нм та PILER з червоним світлофільтром, можуть бути рекомендовані для комплексної терапії широкого кола гнійно-запальних процесів, зумовлених опортуністичними та патогенними мікроорганізмами.

- BANIN, E., HUGHES, D., KUIPERS, O. P. (2017) Bacterial pathogens, antibiotics and antibiotic resistance. *FEMS Microbiology Reviews*, 41(3), 450–452. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsre/fux016>
- BARBIERI, J. S., SPACCARELLI, N., MARGOLIS, D. J., JAMES, W. D. (2019) Approaches to limit systemic antibiotic use in acne: systemic alternatives, emerging topical therapies, dietary modification, and laser and light-based treatments. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 80(2), 538–549. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2018.09.055>
- DE SOUZA DA FONSECA, A., DA SILVA SERGIO, L. P., MENCALHA, A. L., DE PAOLI, F. (2021) Low-power lasers on bacteria: stimulation, inhibition, or effect-less? *Lasers in Medical Science*, 36, 1791–1805. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10103-021-03258-5>
- CELLA, E., GIOVANETTI, M., BENEDETTI, F., SCARPA, F., JOHNSTON, C., BORSETTI, A., CECCARELLI, G., AZARIAN, T., ZELLA, D., CICCOCCHI, M. (2023) Joining Forces against Antibiotic Resistance: The One Health Solution. *Pathogens*, 12(9), 1074. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens12091074>
- DIXIT, S., AHMAD, I., HAKAMI, A., GULAR, K., TEDLA, J.S., ABOHASHRH, M. (2019) Comparison of Anti-Microbial Effects of Low-Level Laser Irradiation and Microwave Diathermy on Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria in an In Vitro Model. *Medicina*, 55(7), 330. DOI: <https://doi.org/10.3390/medicina55070330>
- FARIVAR, S., MALEKSHAHABI, T., SHIARI, R. (2014) Biological effects of low level laser therapy. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 5(2), 58–62. PMID: 25653800; PMCID: PMC4291815.
- GRZECH-LEŚNIAK, Z., SZWACH, J., LELONKIEWICZ, M., MIGAS, K., PYRKOSZ, J., SZWAJKOWSKI, M., KOSIDŁO, P., PAJĄCZKOWSKA, M., WIENCH, R., MATYS, J., NOWICKA, J., GRZECH-LEŚNIAK, K. (2024) Effect of Nd:YAG Laser Irradiation on the Growth of Oral Biofilm. *Microorganisms*, 12(11), 2231. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12112231>
- MESTER, E., LUDANY, G., SELYEI, M., SZENDE, B., TOTAL, G. J. (1968) The stimulating effect of low power laser rays on biological systems. *Laser Review*, 1(3), 12–14.
- MUSSTAF, R. A., JENKINS, D. F., JHA, A. N. (2019) Assessing the impact of low level laser therapy (LLLT) on biological systems: a review. *International Journal of Radiation Biology*, 95(2), 120–143. DOI: <https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1524944>
- PANTYO, V. V., HALEHA, O. V., KUT, D. Z., KUT, M. M., ONYSKO, M. Y., DANKO, E. M., KOVAL, G. M., PANTYO, V. I., HAZA, K. V., BULYNA, T. B. (2024) The effect of low-intensity laser radiation on the sensitivity of *Staphylococcus aureus* to some halogen-containing azaheterocycles. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 15(2), 230–234. DOI: <https://doi.org/10.15421/022434>
- PANTYO, V. V., PALLAH, O. V., BOIKO, N. V., DANKO, E. M., KOVAL, G. M., PANTYO, V. I., CHOBAY, A. S. (2025) Impact of methylene blue and LED radiation on microbial biofilms. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 16(1), e25014. DOI: <https://doi.org/10.15421/0225014>
- PANTYO, V. V., PANTYO, V. I., DANKO, E. M. (2018a) Antimicrobial action of LED radiation on causative agents of opportunistic infections. *Odesa National University Herald. Biology*, 23(142), 69–77. DOI: [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2018.1\(42\).118457](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2018.1(42).118457)
- PANTYO, V. V., PANTYO, V. I., DANKO, E. M. (2018b) The impact of piler-radiation on the growth rate of opportunistic microorganisms. *Reports of Vinnytsia National Medical University*, 22(2), 272–275. DOI: [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22\(2\)-07](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22(2)-07)
- PERCIVAL, S. L., FRANCOLINI, I., DONELLI, G. (2015) Low-level Laser Therapy as an Antimicrobial and Antibiofilm Technology and its Relevance to Wound Healing. *Future Microbiology*, 10(2), 255–272. DOI: <https://doi.org/10.2217/fmb.14.109>
- POUSTY, D., MA, B., MATHEWS, C., HALANUR, M., MAMANE, H., LINDEN, K.G. (2024) Biofilm inactivation using LED systems emitting germicidal UV and antimicrobial blue light. *Water Research*, 267, 122449. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122449>

Дата надходження статті: 16.10.2025

Дата прийняття статті: 28.11.2025

Опубліковано: 17.11.2025