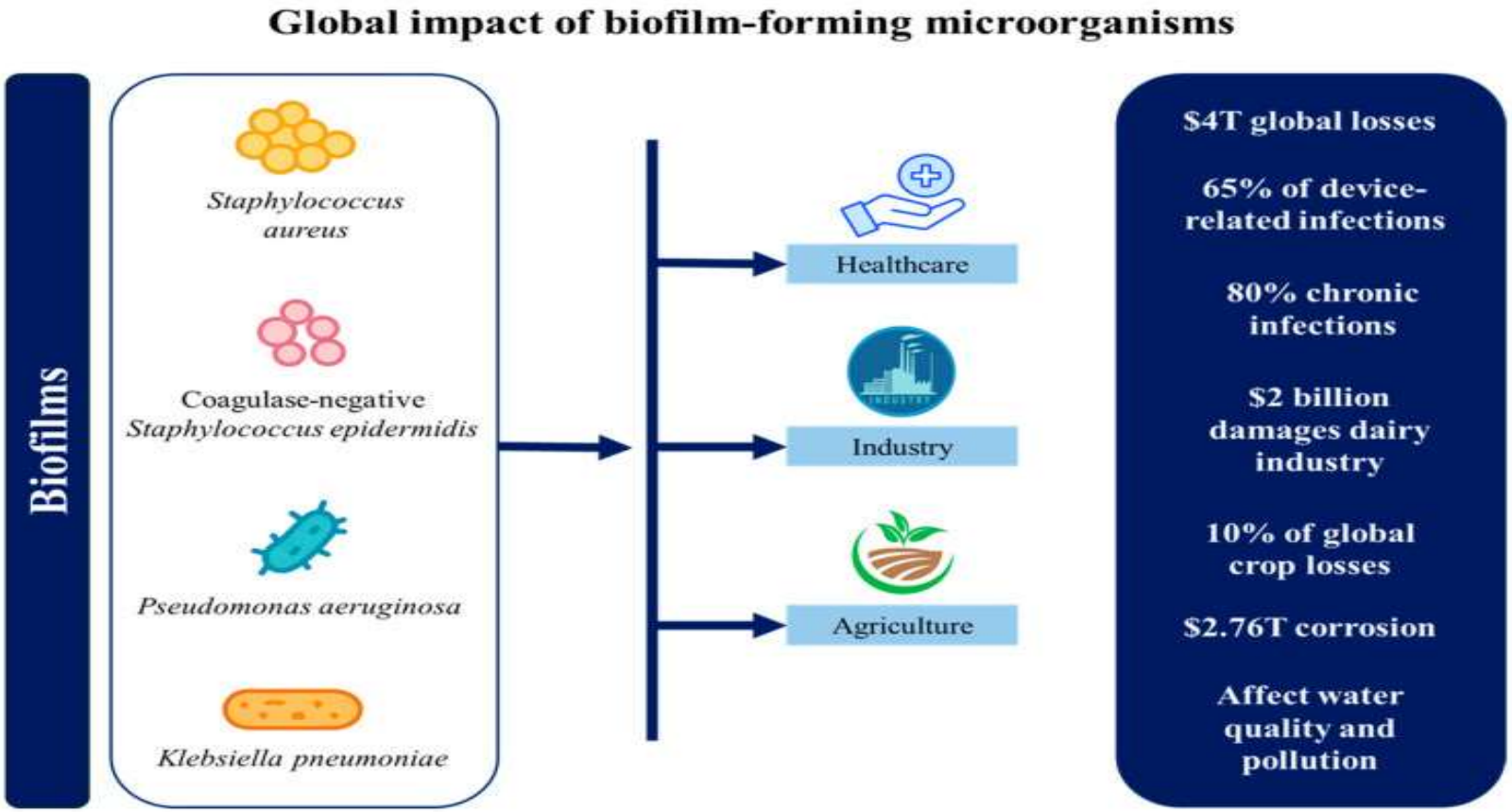
Харківський національний медичний університет
Навчально – науковий інститут післядипломної освіти
Кафедра терапевтичної стоматології, ортодонтії, дитячої стоматології та пародонтології

Фахова школа: **Інтеграція фотодинамічних технологій у лікуванні каріозних уражень, запальних хвороб пародонта та мукозальних змін порожнини рота.**

Доцент Велігоря І.Є., доцент Пушкар Л.Ю., доцент Циганова Н.Б.

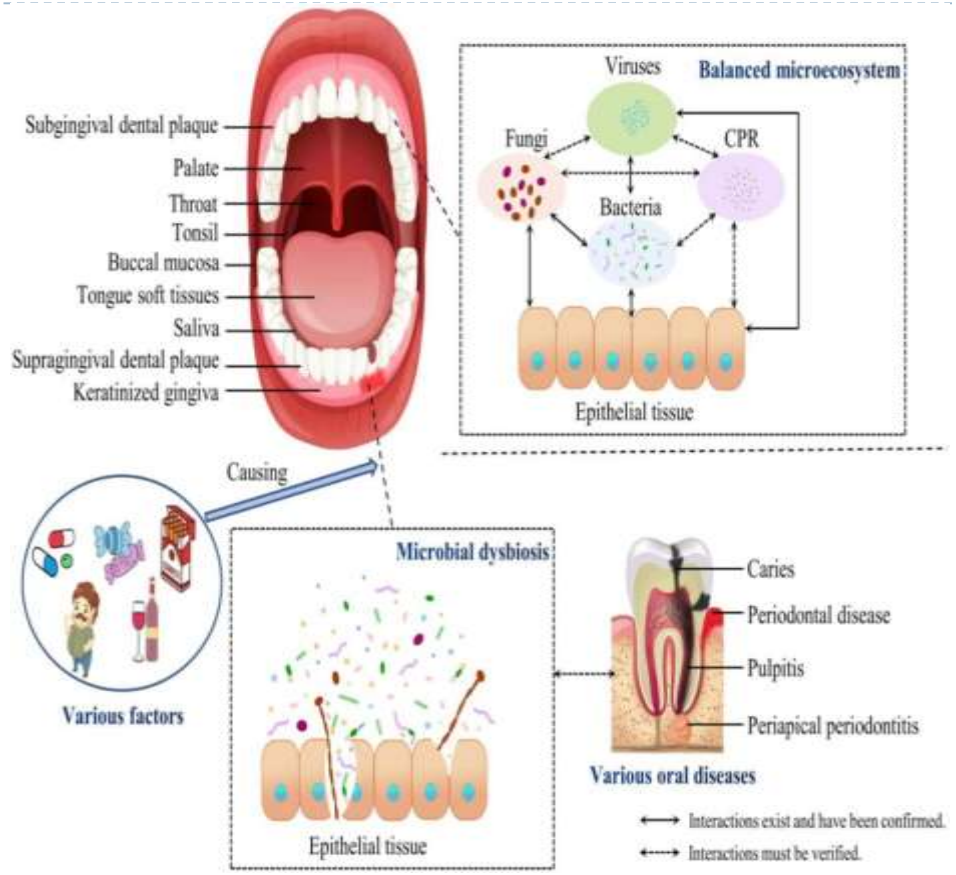
Харків - 2026

Огляд глобального впливу мікроорганізмів, що утворюють біоплівки



Hindieh P, Yaghi J, Assaf JC, Chokr A, Atoui A, Tzenios N, Louka N, Khoury AE. Emerging Multimodal Strategies for Bacterial Biofilm Eradication: A Comprehensive Review. Microorganisms. 2025 Dec 8;13(12):2796. doi: 10.3390/microorganisms13122796. PMID: 41471999; PMCID: PMC12735920.

Li Xinyi, Liu Yanmei, Yang Xingyou, Li Chengwen, Song Zhangyong The Oral Microbiota: Community Composition, Influencing Factors, Pathogenesis, and Interventions \\ Frontiers in Microbiology. №13. 2022



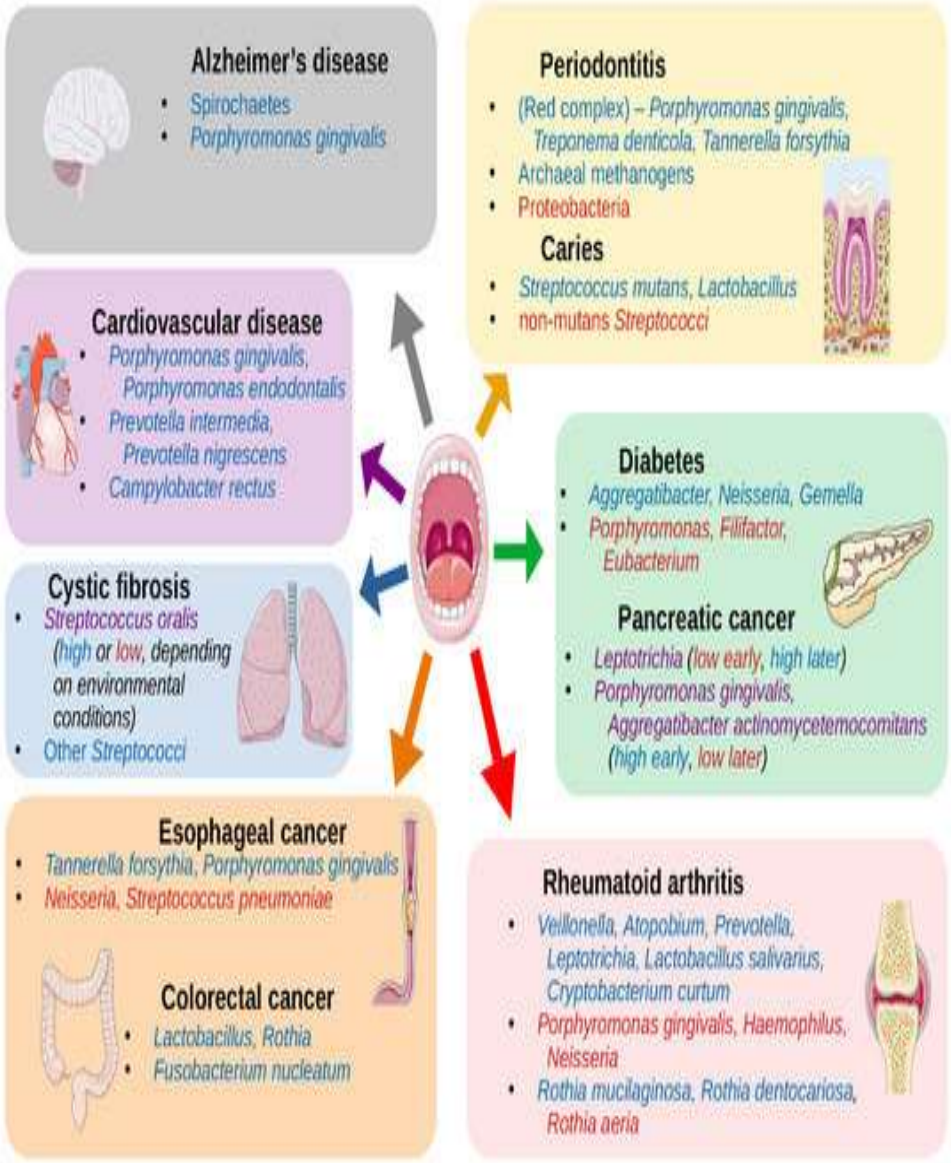
- МАЛЮНОК . Склад збалансованої мікробіоти порожнини рота та при дисбактеріозі.

- Ротова порожнина поділена на дев'ять ніш.
- Склад мікробіоти порожнини рота та структура біоплівки ротової порожнини спеціально адаптуються до різних мікроекологічних середовищ.
- Співтовариства мікроорганізмів ротової порожнини та їх взаємодія з господарем підтримують мікроекосистему порожнини рота в динамічній рівновазі.
- Однак різні фактори викликають дисбіоз мікробіоти ротової порожнини, що сприяє розвитку захворювань порожнини рота і навіть системних захворювань.

Oral biofilms: Architecture and control
Arumugam Priya, ... Shunmugiah Karutha Pandian, in Understanding Microbial Biofilms, 2023



- **Мал. Поширені інфекційні захворювання ротової порожнини.**

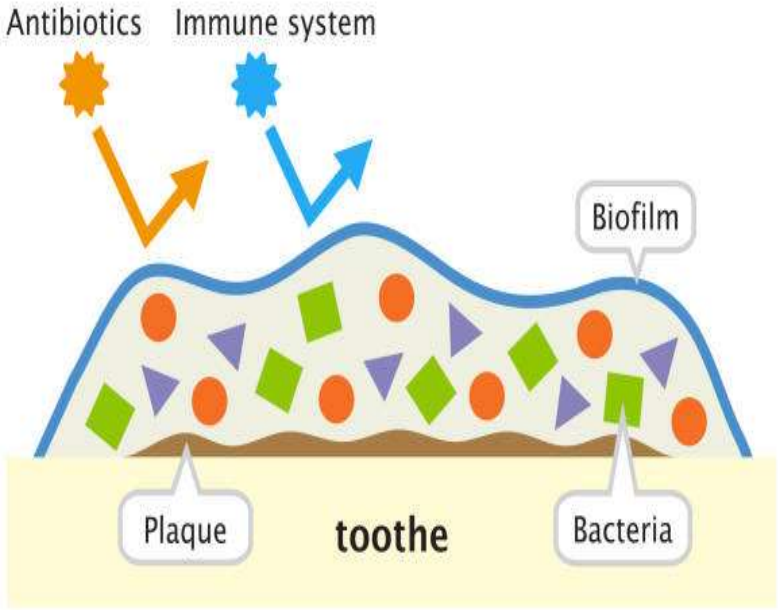


- **Малюнок. Оральні та системні захворювання, пов'язані з мікробіомом порожнини рота.**

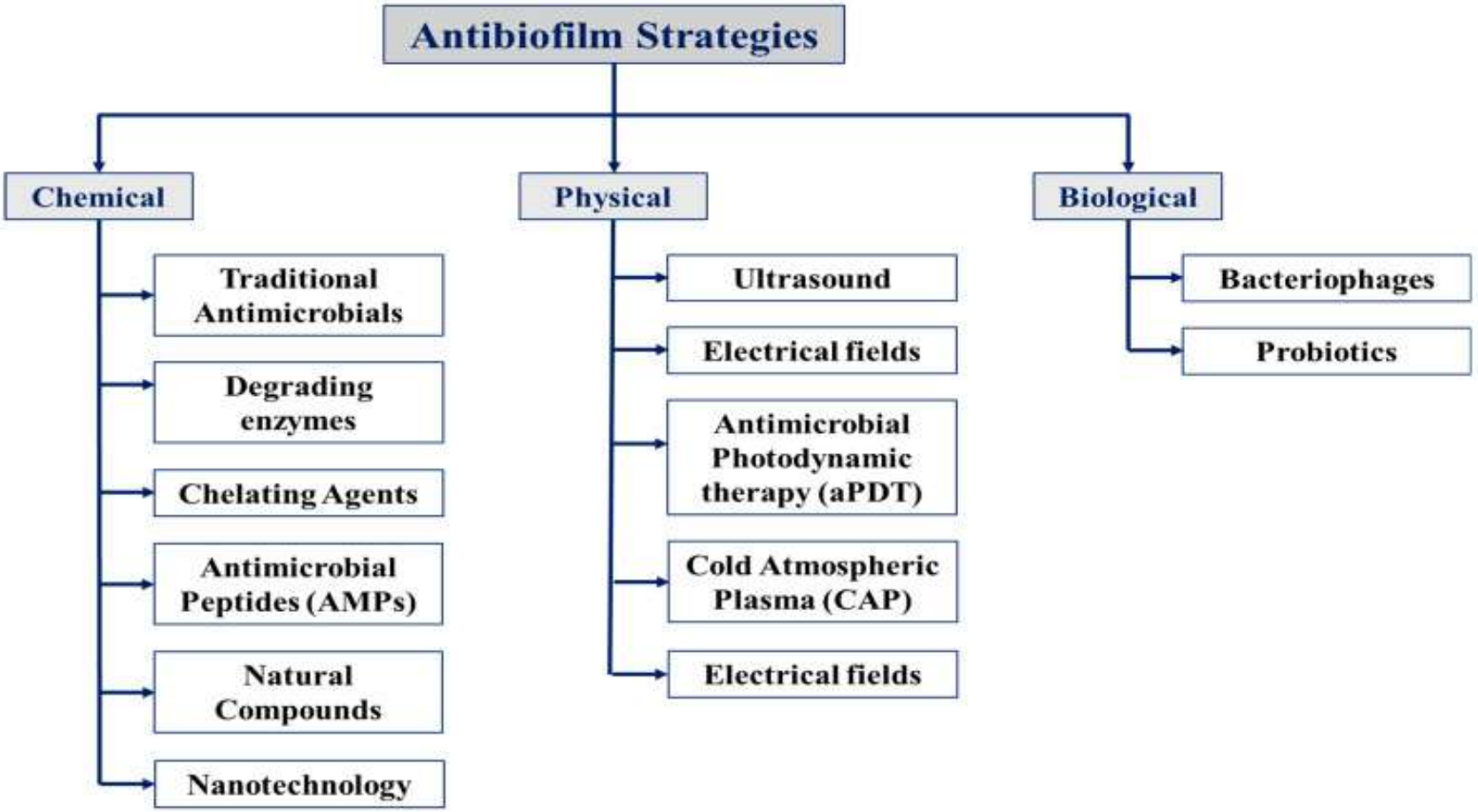
Біоплі́вка або **біофі́льм** — складний (найчастіше мультивидовий) шар мікроорганізмів, що характеризується виділенням позаклітинної матриці, яка утримує мікроорганізми разом, виконує захисні функції та допомагає прикріплятися до поверхонь. Біоплівки також звичайно характеризуються прикріпленням до твердої поверхні, структурною різнорідністю, значним генетичним різноманіттям, складними взаємодіями в межах угрупування і позаклітинною матрицею, складеною з полімерних речовин.

Проблеми, які створюють біоплівки:

- стійкості до антимікробних препаратів,
- стійкість до імунної відповіді організму-хазяїна.



Стратегії пригнічення та знищення біоплівок



- Hindieh P, Yaghi J, Assaf JC, Chokr A, Atoui A, Tzenios N, Louka N, Khoury AE. Emerging Multimodal Strategies for Bacterial Biofilm Eradication: A Comprehensive Review. Microorganisms. 2025 Dec 8;13(12):2796. doi: 10.3390/microorganisms13122796. PMID: 41471999; PMCID: PMC12735920.

Фотодинамічна терапія (ФДТ) — це сучасний метод лікування. Він поєднує спеціальну світлочутливу речовину (фотосенсибілізатор) та світлове випромінювання певної довжини хвилі (лазер або LED-світло). Речовина вибірково накопичується у пошкоджених чи хворих клітинах, а світло активує її, руйнуючи патології без пошкодження здорових тканин.

Основні компоненти методу

Фотосенсибілізатор: гель, крем або розчин, який робить цільові клітини чутливими до світла.	**Джерело світла: лазерні або LED-апарати, що випромінюють червоне, синє чи жовте світло.**	**Кисень: взаємодіє з активним препаратом і знищує дефектні клітини.**



Переваги процедури

- 1. Органозберігаючий метод лікування.
2. Мінімальна токсичність для нормальних тканин.
3. Незначний ризик виникнення вираженого больового синдрому.
4. Незначні системні ефекти.
5. Відсутність механізмів первинної та набутої резистентності.
6. Можливість амбулаторного лікування.
7. Можливість комбінації з іншими методами лікування.
8. Зручність застосування при множинних осередках.
9. Хороші косметичні результати.

Де застосовується ФДТ

- Дерматологія та косметологія: лікування акне, розацеа, пігментації, куперозу, а також омолодження шкіри.
- Онкологія та дерматоонкологія: боротьба з передраковими станами (актинічний кератоз) та поверхневими формами раку шкіри.
- Стоматологія: лікування запалень ясен та інфекцій порожнини рота.
- Отоларингологія: терапія хронічних тонзилітів чи синуситів.

Li Y, Sun G, Xie J, Xiao S and Lin C (2023) Antimicrobial photodynamic therapy against oral biofilm: influencing factors, mechanisms, and combined actions with other strategies. Front. Microbiol. 14:1192955. doi: 10.3389/fmicb.2023.1192955

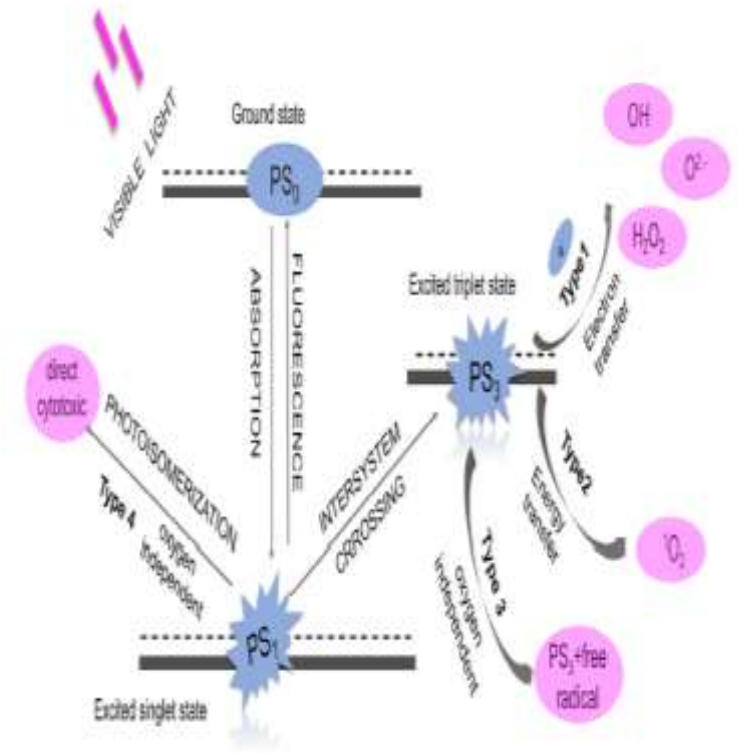


FIGURE 2
The photochemical mechanisms of photodynamic therapy illustrated in previous studies.

Фотохімічні механізми фотодинамічної терапії

- фотосенсибілізатор в основному стані (S0) перетворюється на короткочасний і нестабільний стан (званий першим збудженим синглетним станом, S1) після опромінення джерелом світла відповідної довжини хвилі.
- Для підтримки стабільності фотосенсибілізатор у стані S1 може повернутися в основний стан шляхом флуоресцентного випромінювання або внутрішньої конверсії з втратою енергії.
- В якості альтернативи він також може піддатися міжсистемному переходу, який включає зміни електронного спина для переходу в збуджений триплетний стан (S3). Фотосенсибілізатор у стані S3 ініціює наступні два класичні шляхи, обидва з яких залежать від кисню.
- Механізм типу I включає реакції перенесення електронів від фотосенсибілізатора в триплетному стані до біомолекул з утворенням супероксиду, гідроксильного радикала (OH) і перекису водню (H2O2) .
- Механізм типу II включає реакції перенесення енергії від фотосенсибілізатора у триплетному стані до молекулярного кисню в основному стані з утворенням кисню синглетного. (1O 2)
- Механізм типу III відноситься до процесу фотоактивації, незалежного від кисню та ефективного для інактивації анаеробних мікробів, що призводить до пошкодження ДНК у мікробних клітинах.
- Механізм типу IV відноситься до реакції фотоізомеризації, яка призводить до структурної зміни зі стану S1.
- Механізм IV типу може безпосередньо активувати PS та викликати загибель клітин без необхідності у вторинних киснезалежних реакціях.

Характеристики активних форм кисню (АФК)

супероксид-іон O2-	H_2O_2	•OH	$^1O_2$
Супероксид – це негативно заряджений вільний радикал, який окислює лише тіоли, аскорбат та катехоламіни. Як первинний радикал він може відновлюватися до вторинних радикальних частинок, таких як H_2O_2 і гідроксильні ради кали. Супероксид не може проникнути через клітинну мембрану, тому він реагує лише там, де утворюється.	**H_2O_2 —** це нейтральна молекула , яка легко проникає через клітинну мембрану і бере участь у реакції Фентона в присутності двовалентного заліза. Повідомляється, що H_2O_2 може атакув ати мікроорганізми , викликаючи пошкодження ДНК , не порушуючи цілісність клітини.	**•OH** є одним із шкідливих активних форм кисню і не може бути нейтралізованим ферментативними реакціями. Утворення гідроксильного радикала значною мірою залежить від пов'язаного з метаболізмом виснаження НАДН, циклу трикарбонових кислот (ЦТК), ланцюга перенесення електронів, пошкодження залізо-сірчаних кластерів у білках та стимуляції реакції Фентону. На відміну від супероксиду та H_2O_2 , • OH може легко вступати в реакцію з клітинними компонентами, включаючи ДНК, білки, ліпіди та вуглеводи.	**$^1O_2$** – це високореактивна хімічна речовина, здатна атакувати багато важливих клітинних макромолекул, що призводить до загибелі мікроорганізмів. Незважаючи на високу реактивність, воно має короткий термін життя через нестабільну електронну конфігурацію, що перешкоджає його безперервному окисному ефекту.



Схема пропонованих механізмів антимікробної фотодинамічної терапії проти біоплівок та мікробних клітин.

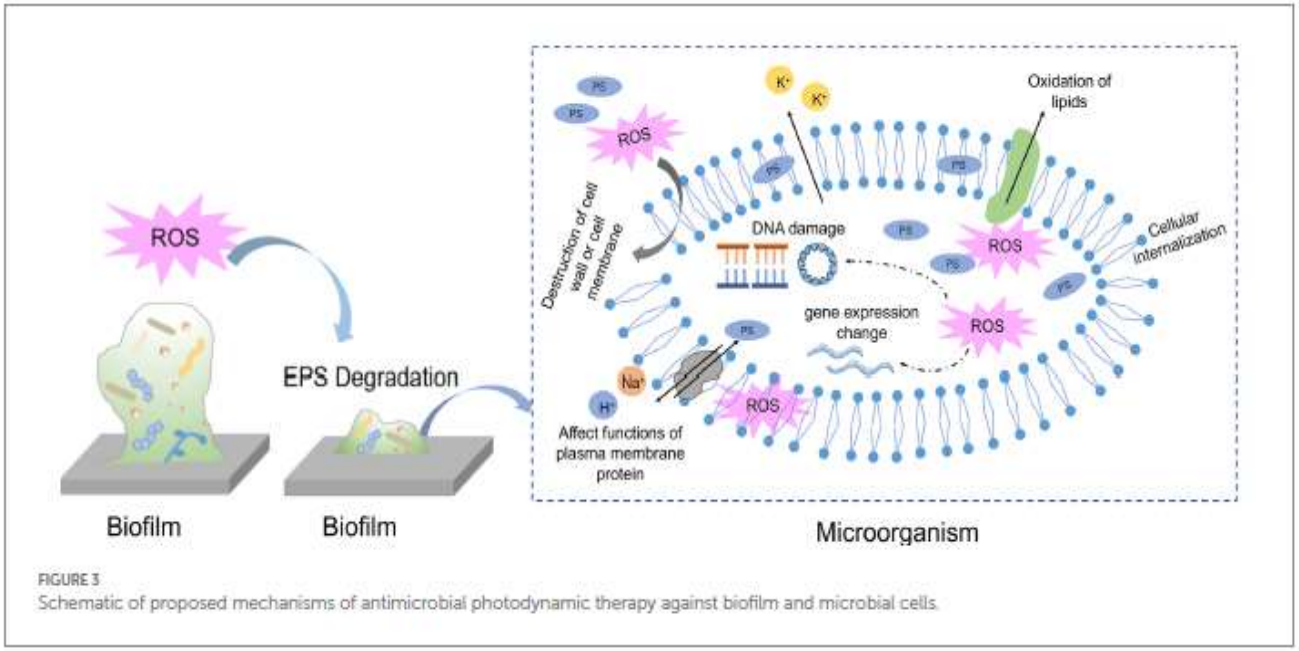


FIGURE 3
Schematic of proposed mechanisms of antimicrobial photodynamic therapy against biofilm and microbial cells.

Вплив Активних форм кисню (ROS) на біоплівку та мікроорганізм:

- Деградація позаклітинної полімерної речовини (порушення цілісності позаклітинного матриксу, що порушує взаємодію між клітинами) ;
- Руйнування морфології клітини – клітинна інтерналізація, руйнування стінки мембрани,окислення ліпідів,порушення зв'язку , порушення функції білка мембрани, зміна експресії генів, пошкодження ДНК.
- Зниження активності фактору вірулентності(пригнічення активності кворум – сенсингу та експрессії відповідних генів

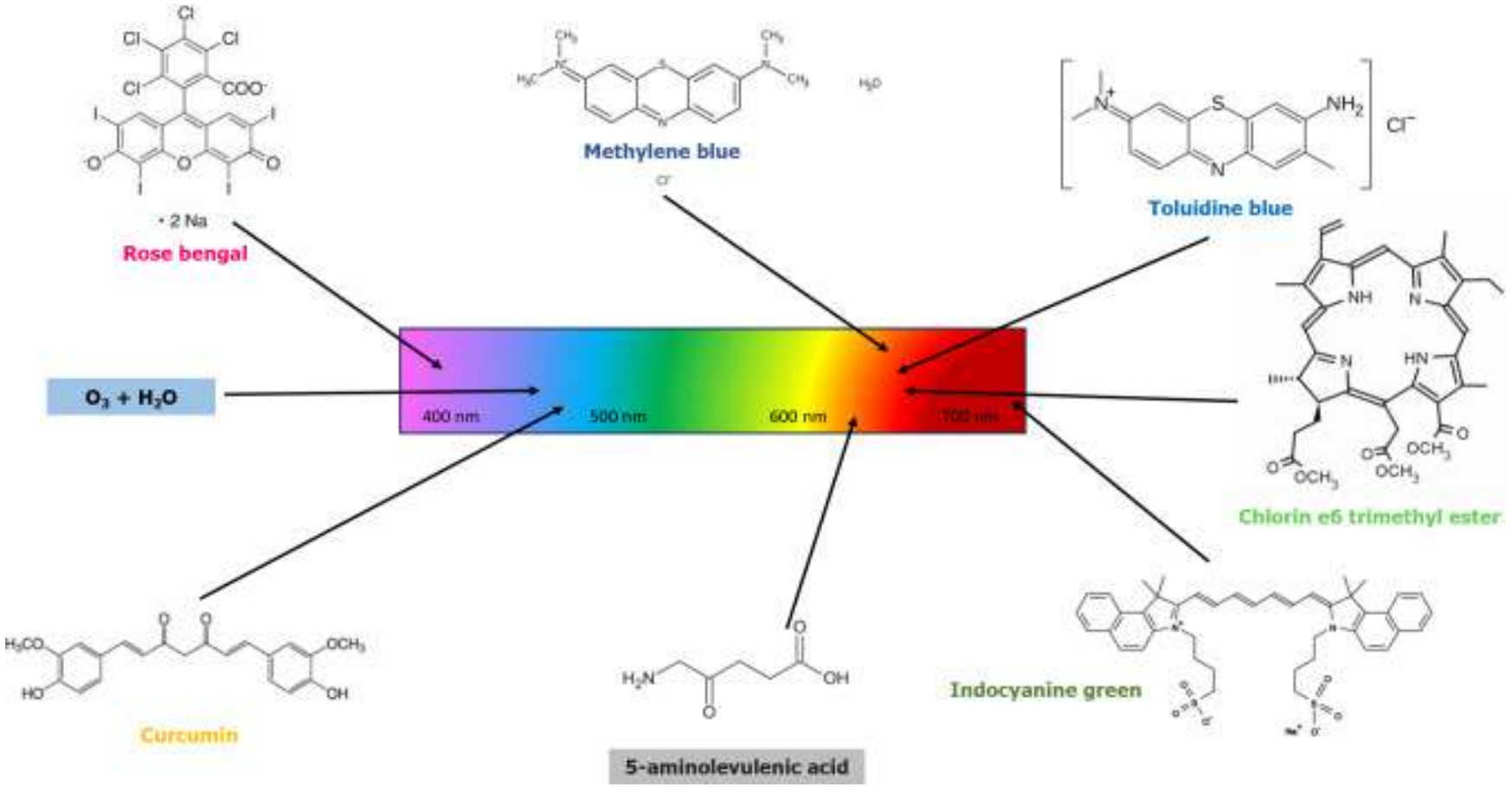
Li Y, Sun G, Xie J, Xiao S and Lin C (2023) Antimicrobial photodynamic therapy against oral biofilm: influencing factors, mechanisms, and combined actions with other strategies. Front. Microbiol. 14:1192955. doi: 10.3389/fmicb.2023.1192955

Таблиця . Загальні характеристики основних фотосенсибілізаторів, що використовуються у фотодинамічній терапії проти бактерій порожнини рота.

Хімічний клас	Фотосенсибілізатор	Спектри поглинання
Фталоціаніни	Фталоціанін цинку	600–700 нм
	Дісульфонірований фталоціанін алюмінію (AlPcS2)	675 нм
Фенотіазіни	Метиленовий синій	600–650 нм
	Толуідиновий синій орто	632–638 нм
Порфірінова платформа	Порфирин	632 нм
	Роза Бенгал	500 нм
Платформа хлорофілу Хлорини	Хлорин e6	645–675 нм

Alfirdous RA, Garcia IM, Balhaddad AA, Collares FM, Martinho FC, Melo MAS. Advancing Photodynamic Therapy for Endodontic Disinfection with Nanoparticles: Present Evidence and Upcoming Approaches. *Applied Sciences*. 2021; 11(11):4759. https://doi.org/10.3390/app11114759

Схематичне зображення основних фотосенсибілізаторів, що використовуються у стоматології, із зазначенням відповідної довжини хвилі збудження у видимому спектрі світла.



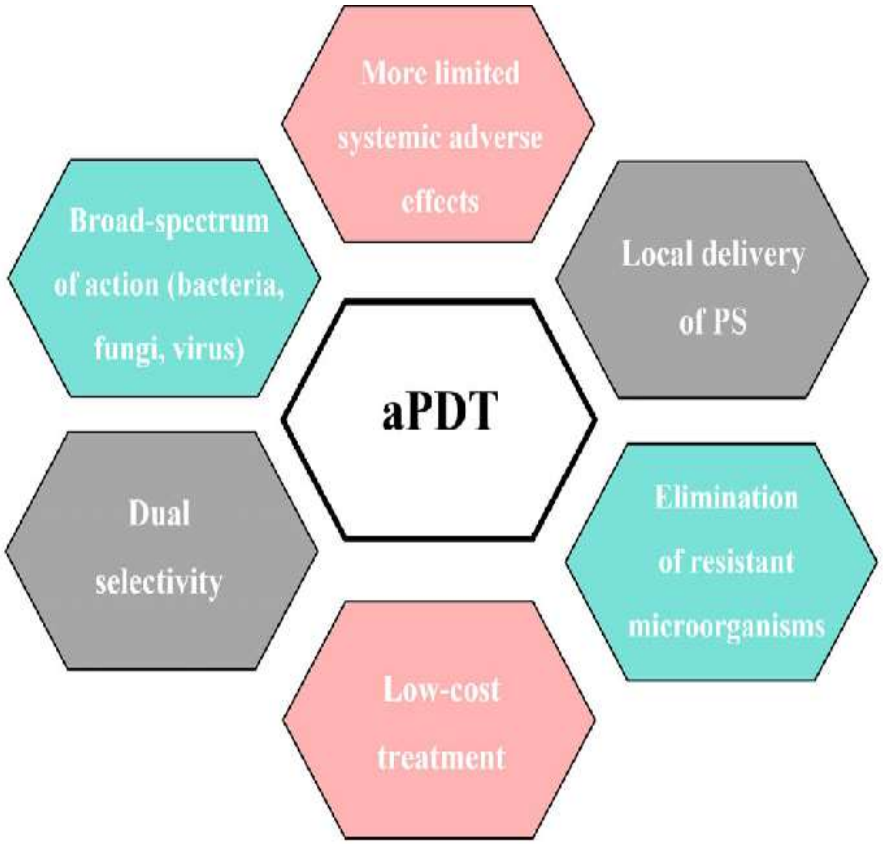
- Casu C, Orrù G. Potential of photodynamic therapy in the management of infectious oral diseases. World J Exp Med. 2024 Mar 20;14(1):84284. doi: 10.5493/wjem.v14.i1.84284. PMID: 38590303; PMCID: PMC10999068.

Джерела світла

Джелеро світла	Лазер	Світлодіоди (LED)	Галогенова лампа
Переваги	монохроматичність та висока інтенсивність, що дозволяє скоротити час опромінення, забезпечуючи при цьому необхідну дозу.	Світлодіоди мають ширший діапазон довжин хвиль, що дозволяє одночасно збуджувати кілька фотосенсибілізаторів в межах їхнього спектра випромінювання. Низька вартість, простота використання та доступность для впливу на поверхні тканин.	можливості спектральної фільтрації для узгодження з будь-яким фотосенсибілізатором.
Недоліки	монохроматичність та висока вартість обмежують використання лазерів у клінічній практиці.		мають низьку спрямованість і монохроматичність, низьку інтенсивність і недостатню енергію. Галогенні лампи не можуть бути ефективно з'єднані з волоконно-оптичними пучками або оптичними рідинними напрямними, тому вони будуть виділяти тепло під час опромінення.



Схема пропонованих механізмів антимікробної фотодинамічної терапії проти біоплівок та мікробних клітин.



- Широкий спектр дії (бактерії, гриби, віруси),
- Подвійна вибірковість,
- Більш обмежений системний несприятливий ефект,
- Місцева доставка фотосенсибілізатора,
- Ліквідація стійкого мікроорганізму,
- Недороге лікування

Ribeiro, Marta & Gomes, Inês & Saavedra, Maria & Simões, Manuel. (2022). Photodynamic therapy and combinatory treatments for the control of biofilm-associated infections. Letters in Applied Microbiology. 75. 548-564. 10.1111/lam.13762.

Table 1. Summary of main clinical indications for photodynamic therapy in dentistry

Indication	Description / Target
Periodontal therapy	Adjunct for chronic periodontitis and peri-implantitis; reduces pathogens, inflammation, and pocket depth
Endodontic disinfection	Eliminates biofilms in root canals and dentinal tubules; effective against resistant pathogens such as E. faecalis and Candida spp.
Caries management	Targets cariogenic bacteria (S. mutans, Lactobacillus); supports minimally invasive control of early lesions
Oral and maxillofacial infections	Treats fungal, viral, and mixed infections (e.g., candidiasis, recurrent herpes) without systemic drug effects
Oral cancer and precancerous lesions	Selective destruction of dysplasia and early oral malignancy with preservation of surrounding tissue
Aesthetic and restorative uses	Enhances bleaching; disinfects cavities; reduces postoperative sensitivity; improves restoration longevity

Antończyk M, Lipka B, Lipka M, et al. Photodynamic therapy in modern dentistry: Mechanisms, clinical applications, and future perspectives - a narrative review. Wiadomości Lekarskie. 2026;(5):1092–1099. doi:10.36740/WLek/219792.

Costa da Mota, A.C., Leal, C.R., Olivan, S.R., Leal Gonçalves, M.L., de Oliveira, V.A., Pinto, M.M., & Bussadori, S.K. (2016). Case Report of Photodynamic Therapy in the Treatment of Dental Caries on Primary Teeth. *Journal of lasers in medical sciences, 7 2*, 131-3 .

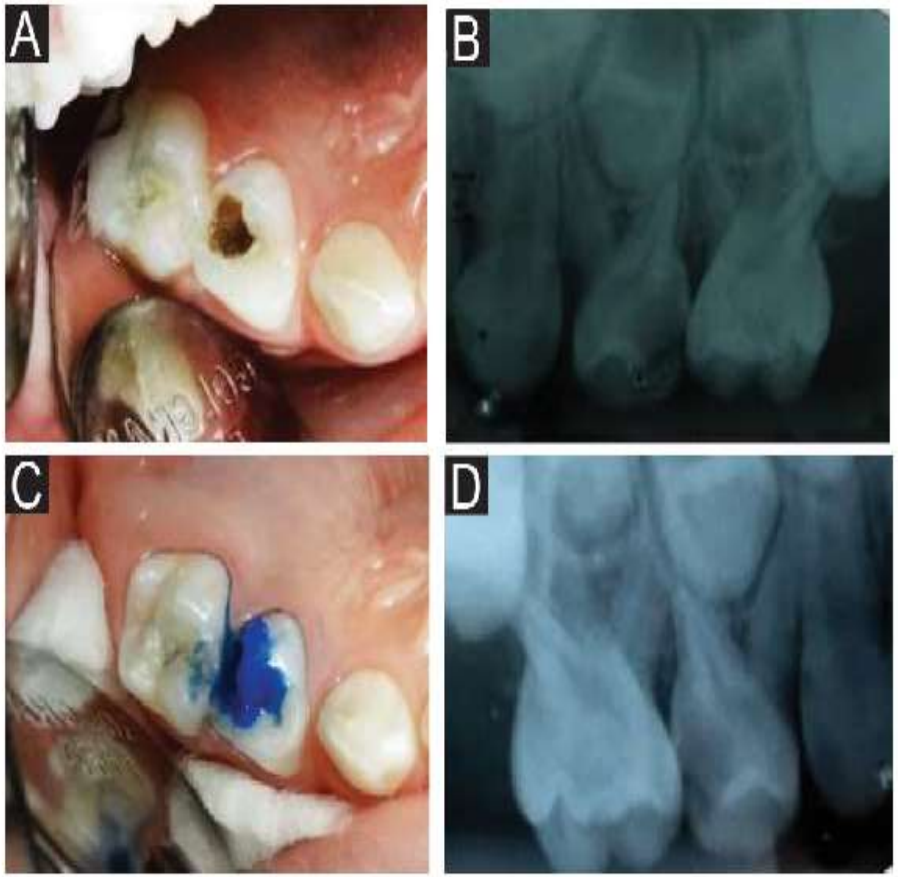


Figure 1. A) Initial Photo of Carious Lesion. B) Initial X-Ray. C)

- **Клінічний випадок застосування фотодинамічної терапії під час лікування карієсу молочних зубів.**

Alfirdous RA, Garcia IM, Balhaddad AA, Collares FM, Martinho FC, Melo MAS. Advancing Photodynamic Therapy for Endodontic Disinfection with Nanoparticles: Present Evidence and Upcoming Approaches. *Applied Sciences*. 2021; 11(11):4759. https://doi.org/10.3390/app11114759

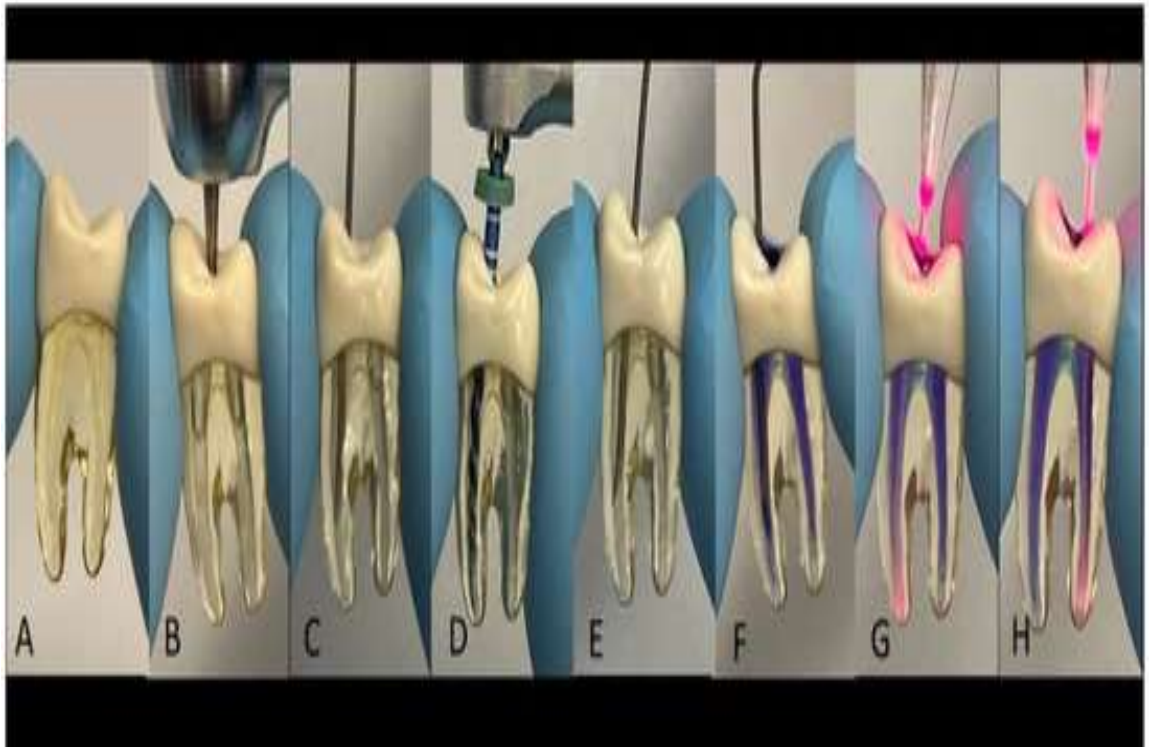


Рисунок. Схематична послідовність клінічного протоколу антимікробної фотодинамічної терапії, що застосовується для дезінфекції корневих каналів.

(A) Діагностика зуба до початку лікування з виявленням інфікованих каналів.

(B) Доступ до корневого каналу для видалення інфікованих тканин пульпи.

(C) Хімічна обробка та зрошення 2,5% розчином гіпохлориту натрію (NaOCl).

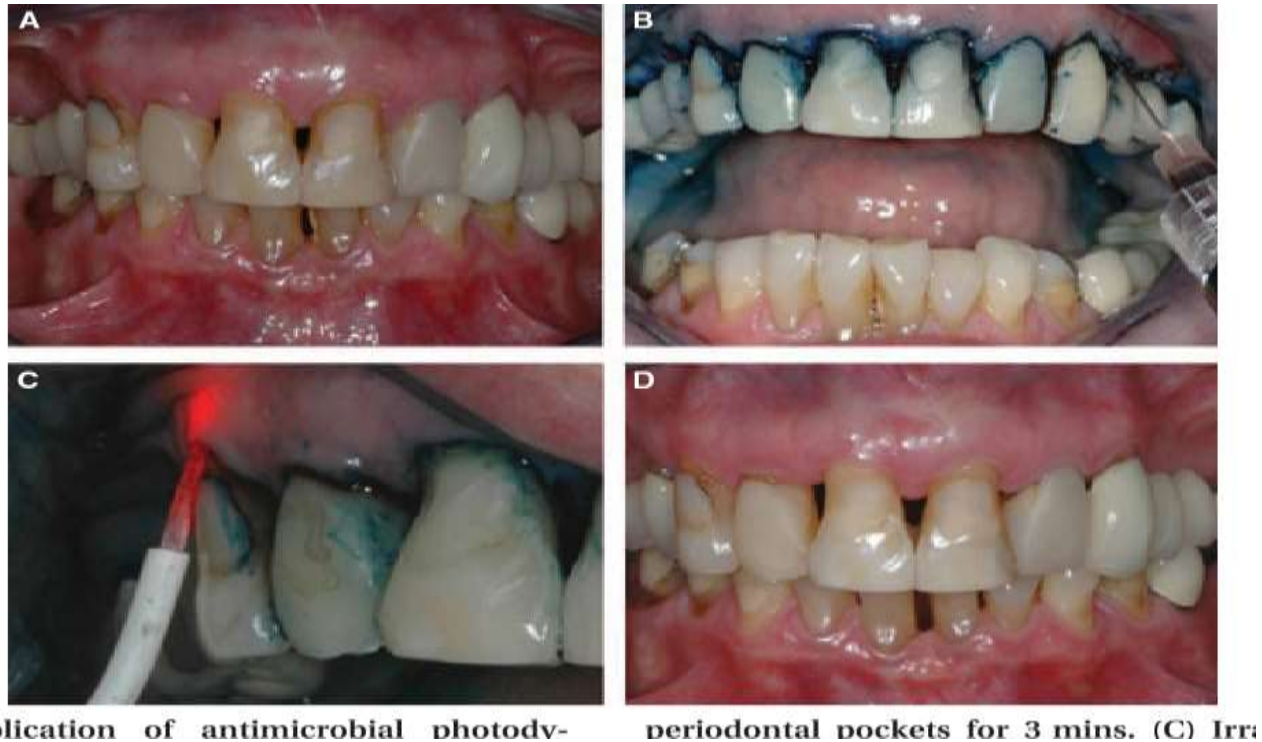
(D) Механічна обробка файлів, що крутяться, для видалення інфікованого корневого дентину.

(E) Заключительное промивання 0,9% фізіологічним розчином.

(F) Фотосенсибілізатор наноситься всередину каналу на 1 хв.

(G , H) Червоний світлодіод (LED; 660 нм; 200 мВт), використовуваний для активації фотосенсибілізатора.

Takasaki AA, Aoki A, Mizutani K, Schwarz F, Sculean A, Wang CY, Koshy G, Romanos G, Ishikawa I, Izumi Y. Application of antimicrobial photodynamic therapy in periodontal and peri-implant diseases. Periodontol 2000. 2009;51:109-40. doi: 10.1111/j.1600-0757.2009.00302.x. PMID: 19878472.



pplication of antimicrobial photody- periodontal pockets for 3 mins. (C) Irr

- Мал. Клінічне застосування антимікробної фотодинамічної терапії під час лікування пародонтиту. (A) Клінічна ситуація 51-річної жінки до нехірургічного лікування пародонтиту та антимікробної фотодинамічної терапії.

Takasaki AA, Aoki A, Mizutani K, Schwarz F, Sculean A, Wang CY, Koshy G, Romanos G, Ishikawa I, Izumi Y. Application of antimicrobial photodynamic therapy in periodontal and peri-implant diseases. Periodontol 2000. 2009;51:109-40. doi: 10.1111/j.1600-0757.2009.00302.x. PMID: 19878472.

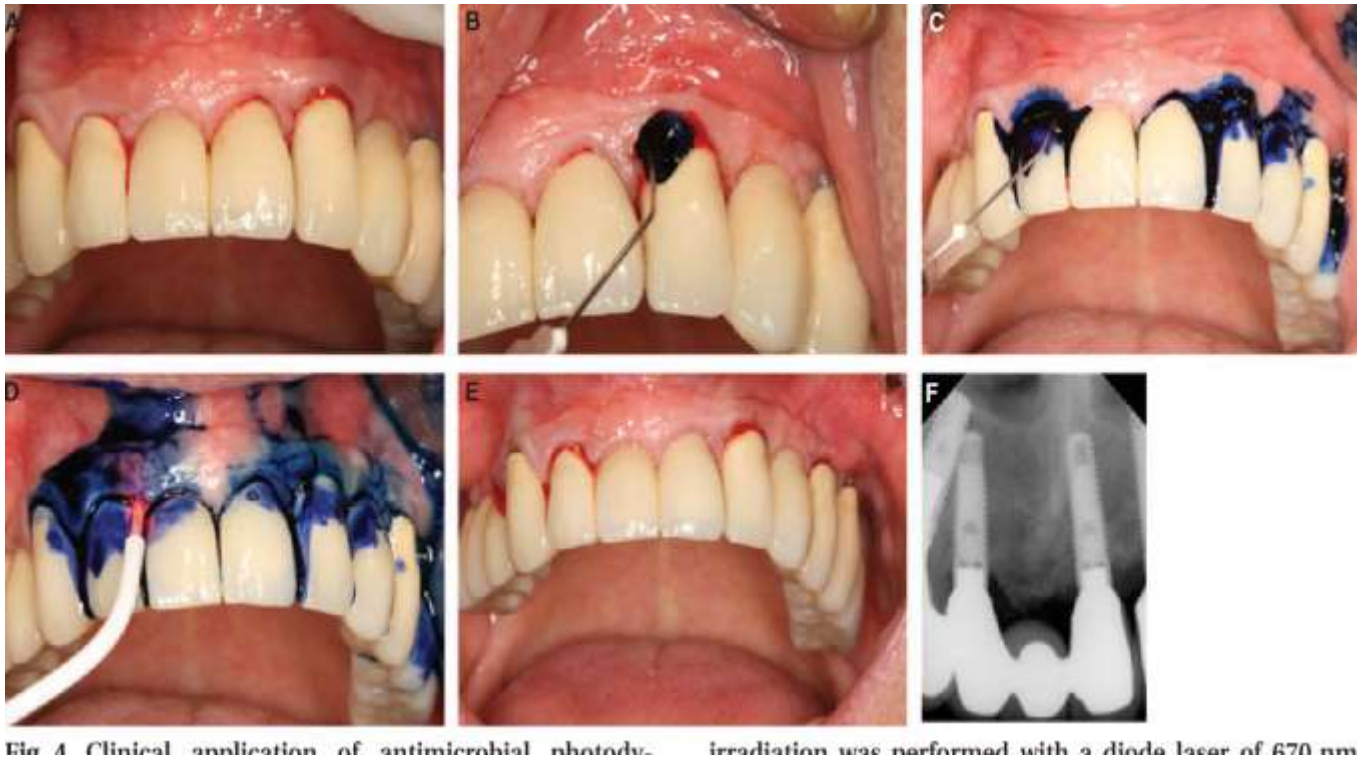


Fig. 4. Clinical application of antimicrobial photody- irradiation was performed with a diode laser of 670 nm

- Мал. Клінічне застосування антимікробної фотодинамічної терапії при лікуванні періімплантиту (А) Клінічна ситуація до нехірургічної терапії періімплантиту та антимікробної фотодинамічної терапії







Мал. Клінічне застосування антимікробної фотодинамічної терапії під час лікування гострого герпетичного стоматиту.

Переваги фотодинамічної терапії

- безпека,
- відсутність токсичності та резистентності до повторних циклів фотодинамічної терапії,
- відсутність небажаних ефектів,
- обмежене застосування анестетиків,
- можливість проводити лікування без застосування антибіотиків та антисептиків,
- щадне та безболісне лікування,
- комфортні умови для лікаря та пацієнта,
- прискорення термінів лікування з досягненням максимального результату.



Література :

1. Hindieh P, Yaghi J, Assaf JC, Chokr A, Atoui A, Tzenios N, Louka N, Khoury AE. Emerging Multimodal Strategies for Bacterial Biofilm Eradication: A Comprehensive Review. Microorganisms. 2025 Dec 8;13(12):2796. doi: 10.3390/microorganisms13122796. PMID: 41471999; PMCID: PMC12735920.
2. Li Y, Sun G, Xie J, Xiao S and Lin C (2023) Antimicrobial photodynamic therapy against oral biofilm: influencing factors, mechanisms, and combined actions with other strategies. Front. Microbiol. 14:1192955. doi: 10.3389/fmicb.2023.1192955
3. Wang L, Chen Q, Liu D. Development of photodynamic therapy in treating oral diseases. Front Oral Health. 2025 Jan 15;5:1506407. doi: 10.3389/froh.2024.1506407. PMID: 39882195; PMCID: PMC11777028.
4. Ribeiro, Marta & Gomes, Inês & Saavedra, Maria & Simões, Manuel. (2022). Photodynamic therapy and combinatory treatments for the control of biofilm-associated infections. Letters in Applied Microbiology. 75. 548-564. 10.1111/lam.13762.
5. Li Y, Sun G, Xie J, Xiao S and Lin C (2023) Antimicrobial photodynamic therapy against oral biofilm: influencing factors, mechanisms, and combined actions with other strategies. Front. Microbiol. 14:1192955. doi: 10.3389/fmicb.2023.1192955
6. Alfirdous RA, Garcia IM, Balhaddad AA, Collares FM, Martinho FC, Melo MAS. Advancing Photodynamic Therapy for Endodontic Disinfection with Nanoparticles: Present Evidence and Upcoming Approaches. *Applied Sciences*. 2021; 11(11):4759. https://doi.org/10.3390/app11114759
7. Sadony, Doaa & Moharam, Maysa. (2024). Laser applications in endodontics: a review article. Bulletin of the National Research Centre. 48. 10.1186/s42269-024-01260-9.
8. Rubio, F.; Arnabat-Domínguez, J.; Sans-Serramitjana, E.; Saa, C.; Grzech-Leśniak, K.; Betancourt, P. Antimicrobial Photodynamic Therapy Combined with Photobiomodulation Therapy in Teeth with Asymptomatic Apical Periodontitis: A Case Series. *Appl. Sci.* **2024**, *14*, 9341. https://doi.org/10.3390/app14209341
9. **Photodynamic therapy: An emerging therapeutic modality in dentistry** Nandita Suresh [a b], Betsy Joseph [a c], Pradeesh Sathyan [d], Vishnupriya K. Sweety [b], Tuomas Waltimo [a e], Sukumaran Anil [f g] **https://doi.org/10.1016/j.bmc.2024.117962** https://www.sciencedirect.com/journal/bioorganic-and-medicinal-chemistry
10. Takasaki AA, Aoki A, Mizutani K, Schwarz F, Sculean A, Wang CY, Koshy G, Romanos G, Ishikawa I, Izumi Y. Application of antimicrobial photodynamic therapy in periodontal and peri-implant diseases. Periodontol 2000. 2009;51:109-40. doi: 10.1111/j.1600-0757.2009.00302.x. PMID: 19878472.
11. Casu C, Orrù G. Potential of photodynamic therapy in the management of infectious oral diseases. World J Exp Med. 2024 Mar 20;14(1):84284. doi: 10.5493/wjem.v14.i1.84284. PMID: 38590303; PMCID: PMC10999068.
12. Costa da Mota, A.C., Leal, C.R., Olivan, S.R., Leal Gonçalves, M.L., de Oliveira, V.A., Pinto, M.M., & Bussadori, S.K. (2016). Case Report of Photodynamic Therapy in the Treatment of Dental Caries on Primary Teeth. *Journal of lasers in medical sciences, 7* 2, 131-3 .

Дякую за увагу!

