

# Вплив поверхні, модифікованої наночастинами срібла, на запальний компонент інтрагінгівальної періімплантатної зони

Д. Я. Максимов<sup>id</sup>\*<sup>A,B,C,D</sup>, О. М. Міщенко<sup>id</sup><sup>A,E,F</sup>

Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна,

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

**Ключові слова:** кровоточивість слизової в ділянці імплантата, запалення періімплантатної зони, плазмове електро-окисдування, наночастини срібла, імплантат.

Запорізький медичний журнал. 2023. Т. 25, № 5(140). С. 428-433

\*E-mail: maximovdenis0064@gmail.com

**Мета роботи** – оцінити інтенсивність запального компонента ясен у навколоімплантатній зоні шляхом вивчення кровоточивості слизової в ділянці імплантата за індексом papilla bleeding index (PBI) при використанні формувачів ясен із поверхнею, що модифікована наночастинами срібла (AgNP).

**Матеріали та методи.** У дослідженні взяли участь 40 пацієнтів, які проходили реабілітацію щодо вторинної часткової адентії методом дентальної імплантації. Пацієнтів поділили на 2 групи: 20 особам із першої групи встановили формувачі ясен із поверхнею, що модифікована методом плазмової електроокисації та допована AgNP; 20 обстеженим із другої групи встановлено стандартні формувачі ясен використовуваної імплантаційної системи з полірованою поверхнею. Осіб контрольної групи залучили для визначення референтних параметрів. Отже, загалом залучено 60 осіб. Ступінь кровоточивості визначили за PBI, товщину слизової оболонки оцінили, використавши ендодонтичний ример.

**Результати.** За рівнем кровоточивості 0 між групами 1 і 2 не було статистично значущої різниці, проте група дослідження суттєво відрізнялася від групи контролю ( $p < 0,001$ ). За рівнем кровоточивості 3 між групами 1 і 2 виявили статистично значущу різницю (12,7 % проти 48,5 %,  $p < 0,001$ ), крім того, показники, що встановили у групі дослідження, вірогідно відрізнялися від параметрів у групі контролю ( $p = 0,019$ ). Це можна пояснити тим, що вимірювання здійснили безпосередньо з ранової поверхні, а показники порівняли для розуміння загальної картини запалення. Рівень кровоточивості 4 не встановили в жодного пацієнта групи дослідження, а в групі порівняння зафіксовано 19,2 % випадків ( $p < 0,001$ ). Отже, ефективним вважаємо використання антибактеріальної дії наночастинок срібла для зменшення запального компонента ясен у навколоімплантатній зоні.

**Висновки.** Використання індексу кровоточивості (PBI) доцільне під час клінічної діагностики запальних процесів у періімплантатній зоні. Зниження кровоточивості періімплантатної зони за рівнем 3, 4 (на 35,8 % і 19,2 %) у пацієнтів при використанні формувачів ясен, що містять AgNP, порівняно з полірованими формувачами, свідчить про виражений проти-запальний ефект поверхні, що допована AgNP. Відсутність статичної різниці між групами за товщиною слизової оболонки досліджених ділянок дає підстави вважати результати, що зафіксували, наслідком впливу наночастинок срібла, зокрема їхньої антибактеріальної дії. Отже, можна рекомендувати поверхню, що допована AgNP, до використання у клінічній практиці.

**Key words:** mucosal bleeding in the implant area, inflammation of the peri-implant area, plasma electrooxidation, metal nanoparticles, implant, peri-implantitis.

Zaporozhye medical journal, 2023. 25(5), 428-433

## The effect of surface-modified silver nanoparticles on the inflammatory component of the intragingival peri-implant area

D. Ya. Maksymov, O. M. Mishchenko

**Aim:** to evaluate the intensity of the gingival inflammatory component in the peri-implant area by studying the mucous membrane bleeding in the implant area according to the papilla bleeding index (PBI), when using healing abutments with a surface modified with silver nanoparticles (AgNP).

**Materials and methods.** 40 patients undergoing rehabilitation for secondary partial adentia by the method of dental implantation were enrolled in the study and divided into 2 groups: Group 1 (20 patients) – healing abutments with the surface modified by the method of plasma electrooxidation and AgNP-doped were fixed; Group 2 (20 patients) – standard healing abutments of the implant system used with a polished surface were fixed. The control group (20 patients) – to determine reference values. A total of 60 patients were involved in the study. The degree of bleeding was measured according to the PBI. The mucous membrane thickness was assessed using an endodontic reamer.

**Results.** There was no statistically significant difference in bleeding level 0 between Groups 1 and 2, but the study group was significantly different from the control group ( $p < 0.001$ ). According to the bleeding level 3, there was a statistically significant difference between Groups 1 and 2, the study group was (12.7 %) versus 48.5 % ( $p < 0.001$ ). In addition, the study group was significantly different from the control group ( $p = 0.019$ ), but this was due to the fact that the measurements were taken directly from the wound surface and the comparison was made to understand inflammatory manifestations as a whole. According to bleeding level 4, there were no patients with this level in the study group, but in the comparison group there were 19.2 % of those ( $p < 0.001$ ). Based on the results of the data obtained, it is advisable to consider effective use of the antibacterial effect of silver nanoparticles to reduce the gingival inflammatory component in the peri-implant area.

**Conclusions.** The use of the bleeding index (PBI) is appropriate in the clinical diagnosis of inflammatory processes in the peri-implant area. Reduction of levels 3, 4 bleeding in the peri-implant area by 35.8 % and 19.2 %, respectively, in patients using healing abutments coated with AgNP compared to polished ones, indicates a pronounced anti-inflammatory effect of the proposed AgNP-doped surface. The absence of a statistical difference in the mucous membrane thickness of the studied areas between the groups allows us to consider the obtained results as consequences of the silver nanoparticle impact with an antibacterial effect. The result of this study allows recommending the proposed AgNP-doped surface for use in clinical practice.

Дентальні імплантати широко використовують як засіб реабілітаційної терапії при повній або частковій адентії. Запальні процеси в тканинах, що виникають навколо імплантатів або формувачів ясен, часто призводять до періімплантатних захворювань, включаючи мукозит і періімплантит [1,2,3]. Зазвичай ці процеси визначають як запальне захворювання, що спричинене та підтримуване бактеріями та продуктами їхнього метаболізму.

У терапевтичному аспекті знезараження поверхні імплантатів і формувачів, а також купірування запального процесу є головною метою протидії періімплантиту [4]. Нехірургічні методи лікування виявилися неефективними, а хірургічні протоколи лікування, що включають кісткову пластику, також показали обмежений ефект [5].

Нині розроблено чимало біоматеріалів, різних за природою, для профілактики та лікування періімплантиту. Усі вони спрямовані на оптимізацію антибактеріальних властивостей і регенерацію кістки [6]. У попередні роки пропонували низку альтернативних і додаткових заходів: повітряно-абразивні системи [7], стоматологічний лазер [8], місцеві антибіотики. Хірургічні методи лікування, що запропоновані для підвищення ефективності, мали обмежену клінічну ефективність [9,10,11,12]. Використання антибіотиків є клінічно результативним у протидії періімплантиту, однак системне застосування препаратів цієї групи зазвичай пов'язане з небажаними побічними ефектами, як-от дисбактеріоз, стійкість до антибіотиків [2] і шлунково-кишкові розлади. Використання антибіотиків або хлоргексидину [10,13] також має недоліки, зокрема можливі алергічні реакції чутливості та больові відчуття в порожнині рота, що визначають при використанні хлоргексидину [14].

Пародонт – високоваскулярна структура зі складною мережею кровоносних судин, які постачають і дрениують тканини, та має одне з найбільших кінцевих джерел крові в організмі. Визначили, що 29,1 % ясенних судин «не видимі» на гістологічному рівні та не функціонують у здорових яснах. Ці «сплячі» капіляри – резервні судини, коли кровообіг збільшується у відповідь на запалення [15].

Артеріальна кров надходить до тканин пародонта судинними джерелами з трьох ділянок: міжзубних перетинок, періодонтальної зв'язки та слизової оболонки ротової порожнини. Якщо запалення немає, судинна архітектура регулярна та має багаточаровий сітчастий рисунок [16].

Відомо, що гінгівіт (найпомітніша ознака захворювання пародонта) обмежена поверхневою тканиною ясен. Схожу клінічну картину визначають у разі періімплантиту. Ознаки гінгівіту, як і періімплантиту, включають набряк, еритему та кровотечу після незначної травми (чистка зубів, іноді – жування). Імунна система відіграє важливу роль у функціонуванні та підтримці стабільності пародонта [17,18]. Клінічно здорові ясна щільні за консистенцією і міцно прикріплені до зуба або альвеолярної кістки, що підлягає. Вони рожевого кольору, без видимих набряків, кровотеч і запалень.

Діагностичні показники для оцінювання стану періімплантатної зони спрямовані на виявлення різних характеристик перебігу хвороби [19]. Через інтенсивну васкуляризацію кровоточивість ясен – одна з перших візуальних ознак періімплантиту, що може з'явитися

раніше, ніж зміна кольору або симптоми набряку. З багатьох маркерів, що використовують для опису прогресування захворювання, кровоточивість ясен є об'єктивною ознакою запалення, яку легко оцінити.

Індекс, що заснований лише на одному симптомі, вперше використали Mühlemann et al. Кровотечу можна викликати мануально, використавши пародонтальний зонд. Кровотеча при зондуванні (bleeding on probing, BoP) – об'єктивний симптом, що свідчить про наявність чи відсутність кровотечі на чотирьох поверхнях зуба та дає інформацію про тяжкість запалення [20]. Бали BoP можна використовувати для диференціації здорових ясен і тих, де виникло запалення [1].

Один із напрямів запобігання періімплантатній інфекції – спроби модифікації поверхні імплантованої конструкції для підвищення її бактеріостатичних властивостей. Анодне окиснення та термоокиснення – методи обробки поверхні титану (Ti) та його сплавів, що найбільш поширені [21]. Методи модифікації поверхні можуть покращити фізичні властивості шляхом одержання нанотрубок чи нанопор [22]. Попередні експерименти з нанесення наночастинок Ag на поверхні Ti, модифіковані нанотрубками TiO<sub>2</sub>, довели їхню виражену антибактеріальну дію [23].

Зважаючи на те, що кровоточивість – один з основних критеріїв запального процесу, та беручи до уваги недостатність досліджень щодо кровоточивості ясен у періімплантатній зоні, доцільним вважаємо детальне оцінювання цього показника в аспекті інтенсивності запального компонента ясен у навколоімплантатній зоні, що ґрунтується на визначенні кровоточивості слизової оболонки в ділянці імплантата.

## Мета роботи

Оцінити інтенсивність запального компонента ясен у навколоімплантатній зоні шляхом вивчення кровоточивості слизової в ділянці імплантата за індексом papilla bleeding index (PBI) при використанні формувачів ясен із поверхнею, що модифікована наночастинами срібла.

## Матеріали і методи дослідження

У дослідженні взяли участь 40 пацієнтів, які проходили реабілітацію щодо вторинної часткової адентії методом дентальної імплантації. Обстежених поділили на дві групи: 1 група (n = 20) – пацієнтам встановлено формувачі ясен із поверхнею, що модифікована методом плазмової електроокисації та допована наночастинами срібла (AgNP); 2 група (n = 20) – пацієнтам встановлено стандартні формувачі ясен використовуваної імплантаційної системи з полірованою поверхнею.

Осіб контрольної групи (20 осіб) залучили для визначення референтних параметрів. Загалом у дослідження залучено 60 обстежених. Усі обстежені надали письмову інформовану згоду на участь у дослідженні.

Дослідження здійснили на клінічних базах кафедри стоматології післядипломної освіти – КНП «Міська лікарня екстреної та швидкої медичної допомоги» ЗМР і стоматологія «Ексіма».

Порівняння груп за віком і статтю пацієнтів наведено в таблиці 1. Групи обстежених зіставні за віком



Рис. 1. Визначення товщини слизової оболонки в ділянці формувача.

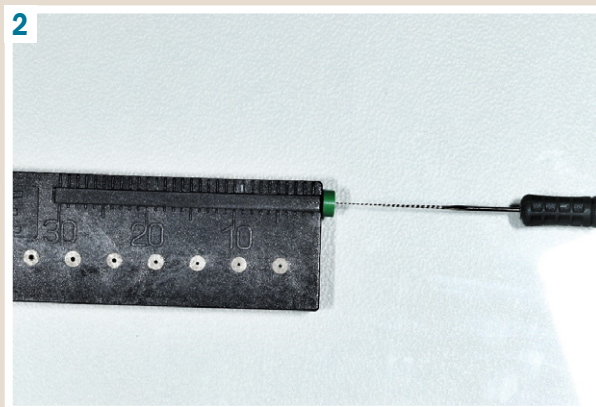


Рис. 2. Фіксація результатів вимірювання товщини слизової оболонки в ділянці формувача.

Таблиця 1. Характеристики пацієнтів за віком і статтю

Показник, одиниці вимірювання	1 група (дослідження), n = 20	2 група (порівняння), n = 20	3 група (контролю), n = 20	p-level між 1 і 2 групою
Вік, років (M ± m)	49,35 ± 2,20	52,45 ± 2,28	50,35 ± 1,21	0,322
Чоловіки, n / %	11 / 55,0	5 / 25,0	9 / 45,0	0,053
Жінки, n / %	9 / 45,0	15 / 75,0	11 / 55,0	0,053

( $p > 0,05$ ). У групі порівняння чоловіків менше, ніж у групі дослідження (25 % проти 55 %), проте ця різниця не набула статистичної значущості ( $p > 0,05$ ).

Для визначення референтних значень у дослідженні залучили 20 осіб. Критерії залучення – відсутність загальносоматичних захворювань, вік від 16 до 50 років, відсутність приймання системних антибіотиків протягом принаймні 3 місяців до початку дослідження.

Відповідно до термінів, що наведені в кожному індивідуальному протоколі імплантації, пацієнтам встановили формувачі ясен (другий етап двоетапного протоколу дентальної імплантації).

Глибина зондування кишені peri-implant probing depths (PPD), вимірювання кровоточивості під час зондування (BoP) або визначення кровоточивості за парадонтальним індексом (papilla bleeding index, PBI) – важливі показники під час для оцінювання стану пародонта або періімплантатної зони. Використання пародонтальних індексів зазвичай рекомендують під час визначення парадонтального статусу зуба або контакту зубного імплантата зі слизовою оболонкою для виявлення ділянок із мукозитом і періімплантитом. Враховуючи, що у нашому дослідженні вивчали періімплантатну зону на 10 день після встановлення формувача, а в обстежених не діагностували парадонтальні кишені, для оцінювання обрали парадонтальний індекс PBI.

Індекс визначають за допомогою пародонтального зонда з гудзиком. Із легким зусиллям зондом проводять по ясенній борозні від основи сосочка до вершини, вздовж мезіальної та дистальної поверхонь зуба. Через 20–30 с, коли весь квадрант прозондований, визначають і реєструють інтенсивність кровотечі. Розрізняють 4 ступені: 0 – немає кровотечі; 1 – поява окремих точкових кровотеч; 2 – численні точкові кровотечі або виникнення лінійної; 3 – міжзубний проміжок заповнений кров'ю;

4 – інтенсивна кровотеча, кров заповнює ясенну борозну, витікає на зуб або ясна.

Для визначення товщини слизової оболонки виконали інфільтраційну анестезію ділянки, після цього ендодонтичним інструментом (ридер, діаметр 20 мм) з попередньо надітим на інструмент стопором проколювали її. Під час проколювання слизової оболонки інструмент зупиняється при досягненні кісткової тканини, цей рівень визначають стопором (рис. 1). Надалі за допомогою лінійки визначали робочу довжину інструмента (рис. 2). Головні переваги цієї методики – доступність і швидкість використання під час клінічного прийому.

Критерії виключення пацієнтів – діагностовані соматичні захворювання, гемофілія, цукровий діабет, порушення артеріального тиску; вік менше ніж 16 і понад 50 років; системне приймання антибіотиків принаймні за 3 місяці до початку дослідження.

Усі обстежені надали письмову інформовану згоду на участь у дослідженні.

Для встановлення референтних параметрів кровоточивості міжзубного сосочка в групі практично здорових осіб визначили PBI у зоні міжзубних сосочків у фронтальному, бічних відділах верхньої та нижньої щелепи з вестибулярної поверхні.

У групі порівняння ступінь кровоточивості визначали на слизовій оболонці періімплантатної зони, безпосередньо прилеглої до формувача ясен у вестибулярній ділянці, на 10 день після встановлення формувача.

У всіх випадках для контролю якості інтеграції формувач ясен встановили відкритим способом: під інфільтраційною анестезією виконали розріз уздовж вершини альвеолярного гребеня в проекції встановленого імплантата, з мінімальною інвазією відшарували слизову оболонку й окістя до рівня заглушки імплантата; після контролю гемостазу встановили обраний формувач ясен із торком 5 Н/см; слизову оболонку ушили кетгуттом.

Пацієнтам призначили ванночки з антисептиком, провели інструктаж щодо додаткової гігієни порожнини рота зі встановленими формувачами ясен на імплантатах.

У групі дослідження використали формувачі ясен імплантаційних систем Арт Імплант і ZirconPrior з поверхнею, що модифікована за допомогою плазмової електроокисації з доповненням наночастинами срібла.

Окиснення анода здійснили за допомогою високовольтного джерела струму KIKUSIU PWR800H (Японія); ним управляли за допомогою ПК із програмним забезпеченням Wavy (KIKUSIU, Японія) при щільності струму 150 мА/см<sup>2</sup>. Щоразу тривалість процесу становила 5 хвилин. Розчин при цьому перемішували за допомогою магнітної мішалки. Температура процесу – 15 °С. Після анодування зразки промити в потоці води DEMI, висушено на повітрі, на них наносили наночастинок виробництва компанії NanoWave (Poland).

Наночастинок срібла синтезували в УФ-реакторі з неіржавної сталі (NanoWave). У кожні 200 мл деіонізованої води додавали 400 мг полівінілпіролідону К30 і 120 мг нітрату срібла, ретельно перемішували. Отримавши гомогенну суміш, додавали 150 мкл 20 % натрію гіпохлориту. Реакцію проводили при ретельному перемішуванні протягом 1 години. На наступному етапі отриманий колоїд срібла фільтрували, застосовуючи мембрану зворотного осмосу (Osmotec M300-O) до отримання концентрації срібла 3 г/л. Наночастинок використали без додаткового очищення.

PBI визначали в стоматологічному кріслі під час клінічного прийому, зондували ясенні сосочки зубів або періімплантатну ділянку формувача. Пародонтологічний зонд із гудзиком Meddins обережно вводили в ясенну борозну біля основи міжзубного сосочка з мезіального боку. Інтенсивність кровотечі, що виникла, оцінили за шкалою від 0 до 4.

Останній етап дослідження передбачав анкетування пацієнтів із наведенням особистих даних.

## Результати

Показники, що встановили в пацієнтів, наведено в таблиці 2, порівняли групи дослідження та контрольну.

Виявили, що за рівнем кровоточивості 0 між групами 1 і 2 немає статистично значущої різниці, проте група дослідження суттєво відрізнялася від групи контролю ( $p < 0,001$ ). За рівнем кровоточивості 1 між групами 1 і 2 визначили статистично вірогідну різницю – 45,1 % проти 2,9 % ( $p < 0,001$ ), але параметри пацієнтів із групи дослідження значущо не відрізнялися від таких у групі контролю ( $p = 0,808$ ). За рівнем кровоточивості 2 між групами 1 та 2 не визначили статистично достовірної різниці, однак група дослідження істотно відрізнялася від групи контролю ( $p < 0,001$ ). За рівнем кровоточивості 3 між групами 1 і 2 виявили статистично значущу різницю (12,7 % проти 48,5 %,  $p < 0,001$ ), крім того, показники, що встановили у групі дослідження, вірогідно відрізнялися від параметрів у групі контролю ( $p = 0,019$ ). Рівень кровоточивості 4 не встановили в жодного пацієнта групи дослідження, а в групі порівняння зафіксовано 19,2 % випадків ( $p < 0,001$ ).

**Таблиця 2.** Порівняння кровоточивості слизової оболонки в ділянці періімплантатної зони за PBI

Показник, одиниці вимірювання	1 група (дослідження), n = 20	2 група (порівняння), n = 20	3 група (контролю), n = 20	p-level між 1 і 2 групою	p-level між 1 і 3 групою
Кількість вимірювань	71	68	40	–	–
<b>Рівень кровоточивості, n / %:</b>					
0	3 / 4,2	2 / 2,9	20 / 50,0	0,679	<0,001
1	32 / 45,1	2 / 2,9	19 / 47,5	<0,001	0,808
2	27 / 38,0	18 / 26,5	1 / 2,5	0,148	<0,001
3	9 / 12,7	33 / 48,5	0 / 0,0	<0,001	0,019
4	0 / 0,0	13 / 19,2	0 / 0,0	<0,001	–

**Таблиця 3.** Показники товщини слизової оболонки в ділянці імплантата (товщина слизової оболонки – від 1 мм до 4 мм)

Показник, одиниці вимірювання	1 група (дослідження), n = 20	2 група (порівняння), n = 20	3 група (контролю), n = 20	p-level між 1 і 2 групою	p-level між 1 і 3 групою
Кількість вимірювань	71	68	40	–	–
<b>Індекс товщини слизової, n / %:</b>					
1	16 / 22,5	10 / 14,7	7 / 17,5	0,238	0,533
2	31 / 43,7	22 / 32,4	18 / 45,0	0,170	0,895
3	19 / 26,8	29 / 42,6	13 / 32,5	0,051	0,525
4	5 / 7,0	7 / 10,3	2 / 5,0	0,488	0,677

Для підтвердження ефективності впливу наночастинок срібла на запальний процес, зокрема кровоточивість, додатково оцінили товщину слизової оболонки в ділянці імплантата. Результати наведено в таблиці 3 і на рис. 3. Проаналізувавши дані, що наведено, встановили: відмінності між групами не набули статистично значущого рівня ( $p > 0,05$ ), хоча в групі дослідження оцінки 1 і 2 визначали частіше, ніж у групі порівняння.

## Обговорення

Отже, за даними, що одержали, на 10 день після встановлення формувача за рівнем кровоточивості 0 між групами 1 та 2 немає статистично значущої різниці. Втім, група дослідження вірогідно відрізнялася від групи контролю ( $p < 0,001$ ). Це можна пояснити тим, що рана поверхня не може не кровоточити після встановлення формувача.

Наголосимо на низькому показнику кровоточивості за рівнями 3 і 4 (12,7 % і 0,0 % відповідно) й ексудативного процесу в ділянці, де встановлено формувачі ясен із поверхнею, що модифікована методом плазмової електроокисації та доповнена AgNP. Це можна пояснити антибактеріальним і біоцидним ефектом, що властивий таким формувачам. У разі встановлення стандартного формувача ясен використовуваної імплантаційної системи з полірованою поверхнею 3 і 4 рівні кровоточивості визначили у 48,5 % і 19,2 % випадків відповідно. Значення, що встановили в групі дослідження, максимально наближені до референтних ступенів кровоточивості 3, 4 (0 %) за PBI міжзубного сосочка здорових осіб. Це дає підстави припустити наявність вираженого антимікробного ефекту наночастинок срібла на поверхні формувачів ясен.

Запобігання утворенню запального компонента в м'яких тканинах періімплантатної зони важливе для



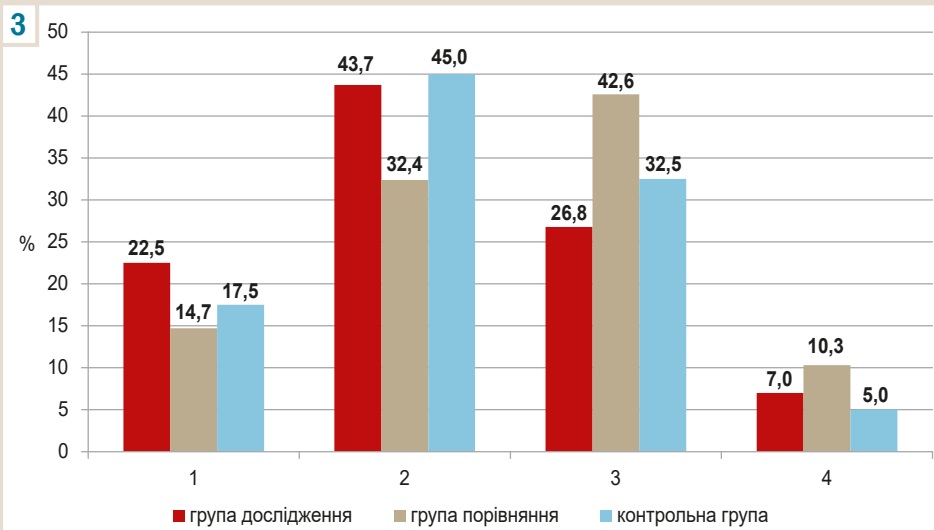


Рис. 3. Порівняння результатів дослідження товщини слизової в ділянці імплантата.

забезпечення стабільності інтеграції внутрішньокісткової частини будь-якого імплантата. Ясна навколоімплантатної зони – перший бар'єр на шляху мікробної інвазії з порожнини рота, тому наявність запального процесу, який виявляють передусім за кровоточивістю, є клінічною ознакою виникнення періімплантиту та може бути градієнтом до визначення ступеня тяжкості захворювання. Наявність мікробної біоплівки на елементах імплантаційної або ортопедичної конструкції, своєю чергою, – стартовий компонент виникнення запалення, що спричиняє періімплантит і відмову імплантату загалом.

Боротьба з мікробною біоплівкою та неінвазивний клінічний контроль стану тканин періімплантатної зони – основне завдання, вирішення якого сприятиме стабільності та тривалій експлуатації імплантату. Тому проблема фіксації антимікробних компонентів на поверхні імплантованих та ортопедичних конструкцій, баланс між вираженим біоцидним і біоактивним ефектами є вкрай актуальними. Це завдання почасти вирішили в цьому дослідженні шляхом використання наночастинок срібла та зниження кровоточивості за рівнями 3, 4 на 35,8 % і 19,2 % відповідно.

Порівнявши товщину слизової оболонки в ділянці імплантата, статично вірогідної різниці не виявили. Це також доводить ефективність використання наночастинок срібла на поверхні формувачів для запобігання розвитку запального процесу.

## Висновки

1. Підтверджено доцільність використання індексу кровоточивості (РВІ) під час клінічної діагностики запальних процесів періімплантатної зони.
2. Зниження кровоточивості періімплантатної зони за рівнями 3, 4 (на 35,8 % і 19,2 %) у пацієнтів, в яких використали формувачі ясен, що містять AgNP, порівняно з полірованими формувачами свідчить про виражений протизапальний ефект запропонованої поверхні, допованої AgNP.
3. Відсутність статичної різниці між групами за товщиною слизової оболонки ділянок, що дослідили,

дає підстави вважати одержані результати наслідком впливу наночастинок срібла та їхньої антибактеріальної дії, що сприяли зниженню запального компонента в періімплантатній зоні.

4. За результатами дослідження, можна рекомендувати запропоновану поверхню, що допована AgNP, до використання у клінічній практиці.

**Перспективи подальших досліджень** полягають у визначенні ефективності розробленої методики модифікації поверхні, зокрема шляхом введення наночастинок срібла, та клінічному підтвердженні бактеріостатичного та бактерицидного ефектів допованої поверхні формувача.

## Фінансування

Дослідження виконане в рамках проекту Європейської комісії за програмою Горизонт 2020 MSCA-RISE (777926 NanoSurf “Nanostructural surface development for dental implant manufacturing”), проекту Польського національного центру досліджень та розробок (POIR.01.01.02-00-0022/16 “Development of technology and launching the production of innovative dental implants with increased osteoinductive properties”), а також НАР Запорізького державного медичного університету «Динамічні зміни морфологічних і біомеханічних властивостей тканин щелепно-лицевої області при реабілітації пацієнтів з адентією», держреєстрація № 0118U007136 (2018–2022).

**Конфлікт інтересів:** відсутній.

**Conflicts of interest:** authors have no conflict of interest to declare.

Надійшла до редакції / Received: 15.05.2023

Після доопрацювання / Revised: 10.07.2023

Схвалено до друку / Accepted: 25.07.2023

## Відомості про авторів:

Максимов Д. Я., PhD аспірант каф. стоматології післядипломної освіти, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0002-3200-3754

Міщенко О. М., д-р мед. наук, професор, зав. каф. стоматології післядипломної освіти, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0002-6378-7061

## Information about authors:

Maksymov D. Ya., PhD-student of the Department of Dentistry of Postgraduate Education, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Ukraine.

Mishchenko O. M., MD, DSc, Professor, Head of the Department of Dentistry of Postgraduate Education, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Ukraine.

## References

- Mishchenko, O. M., Pohorielov, M. V., & Volchykhina, K. P. (2019). Vospalitel'nye protsessy v periimplantatnoi zone. (Obzor) [Inflammatory process in the periimplant area. (Review)]. *Suchasna stomatolohiia*, (1), 80-87. [in Russian]. <https://doi.org/10.33295/1992-576X-2019-1-80-85>
- Salvi, G. E., Cosgarea, R., & Sculean, A. (2017). Prevalence and Mechanisms of Peri-implant Diseases. *Journal of dental research*, 96(1), 31-37. <https://doi.org/10.1177/0022034516667484>
- Zhao, P., Wang, Q., Zhang, P., Zhou, X., Nie, L., Liang, X., Ding, Y., & Wang, Q. (2021). Clinical Efficacy of Chlorhexidine as an Adjunct to Mechanical Therapy of Peri-Implant Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of oral implantology*, 47(1), 78-87. <https://doi.org/10.1563/aaaid-joi-D-19-00213>
- Bassetti, M., Schär, D., Wicki, B., Eick, S., Ramseier, C. A., Arweiler, N. B., Sculean, A., & Salvi, G. E. (2014). Anti-infective therapy of peri-implantitis with adjunctive local drug delivery or photodynamic therapy: 12-month outcomes of a randomized controlled clinical trial. *Clinical oral implants research*, 25(3), 279-287. <https://doi.org/10.1111/clr.12155>
- Emanuel, N., Machtei, E. E., Reichart, M., & Shapira, L. (2020). D-PLEX500: a local biodegradable prolonged release doxycycline-formulated bone graft for the treatment of peri-implantitis. A randomized controlled clinical study. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)*, 51(7), 546-553. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a44629>
- De Avila, E. D., van Oirschot, B. A., & van den Beucken, J. J. P. (2020). Biomaterial-based possibilities for managing peri-implantitis. *Journal of periodontal research*, 55(2), 165-173. <https://doi.org/10.1111/jre.12707>
- Khan, A., Goyal, A., Currell, S. D., & Sharma, D. (2020). Management of Peri-Implantitis Lesions without the Use of Systemic Antibiotics: A Systematic Review. *Dentistry journal*, 8(3), 106. <https://doi.org/10.3390/dj8030106>
- Natto, Z. S., Aladmawy, M., Levi, P. A., Jr, & Wang, H. L. (2015). Comparison of the efficacy of different types of lasers for the treatment of peri-implantitis: a systematic review. *The International journal of oral & maxillofacial implants*, 30(2), 338-345. <https://doi.org/10.11607/jomi.3846>
- Klinge, B., Meyle, J., & Working Group 2 (2012). Peri-implant tissue destruction. The Third EAO Consensus Conference 2012. *Clinical oral implants research*, 23 Suppl 6, 108-110. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02555.x>
- Heitz-Mayfield, L. J., & Mombelli, A. (2014). The therapy of peri-implantitis: a systematic review. *The International journal of oral & maxillofacial implants*, 29 Suppl, 325-345. <https://doi.org/10.11607/jomi.2014suppl.g5.3>
- Schwarz, F., Becker, K., & Sager, M. (2015). Efficacy of professionally administered plaque removal with or without adjunctive measures for the treatment of peri-implant mucositis. A systematic review and meta-analysis. *Journal of clinical periodontology*, 42 Suppl 16, S202-S213. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12349>
- Schär, D., Ramseier, C. A., Eick, S., Arweiler, N. B., Sculean, A., & Salvi, G. E. (2013). Anti-infective therapy of peri-implantitis with adjunctive local drug delivery or photodynamic therapy: six-month outcomes of a prospective randomized clinical trial. *Clinical oral implants research*, 24(1), 104-110. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02494.x>
- Smiley, C. J., Tracy, S. L., Abt, E., Michalowicz, B. S., John, M. T., Gunsolley, J., Cobb, C. M., Rossmann, J., Harrel, S. K., Forrest, J. L., Hujjoel, P. P., Norian, K. W., Greenwell, H., Frantsve-Hawley, J., Estrich, C., & Hanson, N. (2015). Systematic review and meta-analysis on the nonsurgical treatment of chronic periodontitis by means of scaling and root planing with or without adjuncts. *Journal of the American Dental Association (1939)*, 146(7), 508-24.e5. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2015.01.028>
- Salaie, R. N., Besinis, A., Le, H., Tredwin, C., & Handy, R. D. (2020). The biocompatibility of silver and nanohydroxyapatite coatings on titanium dental implants with human primary osteoblast cells. *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications*, 107, 110210. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110210>
- Brecx, M. C., Nuki, K., Lang, N. P., Gestach, A., & Sollberger, K. (1992). Microvascular volumes in healthy and inflamed gingiva in humans. *Journal of periodontal research*, 27(1), 1-7. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.1992.tb02078.x>
- Newman, M. G., Takei, H. H., Klokkevold, P. R., & Carranza, F. A. (2019). Newman and Carranza's Clinical Periodontology (13th ed). Elsevier.
- Song, E., Park, M. J., Kim, J. A., Roh, E., Yu, J. H., Kim, N. H., Yoo, H. J., Seo, J. A., Kim, S. G., Kim, N. H., Baik, S. H., & Choi, K. M. (2021). Implication of thyroid function in periodontitis: a nationwide population-based study. *Scientific reports*, 11(1), 22127. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01682-9>
- Julkunen, A., Heikkinen, A. M., Söder, B., Söder, P. Ö., Toppila-Salmi, S., & Meurman, J. H. (2017). Autoimmune Diseases and Oral Health: 30-Year Follow-Up of a Swedish Cohort. *Dentistry journal*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.3390/dj6010001>
- Cecchi, L., Montevicchi, M., Cecchi, V., & Zappulla, F. (2009). The relationship between bleeding on probing and subgingival deposits. An endoscopic evaluation. *The open dentistry journal*, 3, 154-160. <https://doi.org/10.2174/1874210600903010154>
- Murakami, S., Mealey, B. L., Mariotti, A., & Chapple, I. L. C. (2018). Dental plaque-induced gingival conditions. *Journal of periodontology*, 89 Suppl 1, S17-S27. <https://doi.org/10.1002/JPER.17-0095>
- Oleshko, O., Deineka, V., Husak, Y., Kornienko, V., Dryhva, B., Dudko, J., Solodovnyk, O., Simka, W., Michalska, J., Mishchenko, O., Grundsteins, K., & Pogorielov, M. (2020). Plasma electrolytic oxidation of TiZr alloy in ZnONPs-contained solution: structural and biological assessment. In: A. Pogrebnyak, M. Pogorielov, R. Viter (Eds.), *Nanomaterials in biomedical application and biosensors (NAP-2019)* (pp. 75-82). Springer Proceedings in Physics. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-3996-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-15-3996-1_8)
- Zhao, L., Wang, H., Huo, K., Cui, L., Zhang, W., Ni, H., Zhang, Y., Wu, Z., & Chu, P. K. (2011). Antibacterial nano-structured titania coating incorporated with silver nanoparticles. *Biomaterials*, 32(24), 5706-5716. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2011.04.040>
- Lorenz, J., Giuliani, N., Hölscher, W., Schwiertz, A., Schwarz, F., & Sader, R. (2019). Prospective controlled clinical study investigating long-term clinical parameters, patient satisfaction, and microbial contamination of zirconia implants. *Clinical implant dentistry and related research*, 21(2), 263-271. <https://doi.org/10.1111/cid.12720>