УДК 616.314-089.23:579.26
DOI https://doi.org/10.32782/3041-1394.2026-2.3

Р.Я. Романюк, *аспірант кафедри терапевтичної стоматології, Буковинський державний медичний університет, вул. Марка Вовча, 2, м. Чернівці, Україна, індекс 58002, r.r.stomat@gmail.com, https://orcid.org/0009-0000-0978-361X*

Н.В. Ватаманюк, *доцент кафедри терапевтичної стоматології, Буковинський державний медичний університет, вул. Марка Вовча, 2, м. Чернівці, Україна, індекс 58002, vatamaniuk.nataliia@bsmu.edu.ua, https://orcid.org/0000-0001-6485-2358*

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АДГЕЗІЇ БІОПЛІВКИ ДО БРЕКЕТ-СИСТЕМ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Вступ. Фіксація незнімних ортодонтичних конструкцій створює додаткові ретенційні ділянки для накопичення зубної біоплівки та ускладнює проведення індивідуальної гігієни порожнини рота. Тому дослідження особливостей адгезії біоплівки до поверхні емалі та компонентів брекет-систем має важливе значення для профілактики демінералізації емалі та карієсу під час ортодонтичного лікування.

Мета. Провести порівняльний аналіз адгезії біоплівки до поверхні брекет-систем різних конструкцій та визначити особливості їхньої схильності до колонізації мікроорганізмами, а також оцінити стан індивідуальної гігієни порожнини рота у пацієнтів під час лікування незнімними ортодонтичними конструкціями.

Матеріали і методи. Проведені клінічні і морфологічні дослідження, зміст яких ґрунтується на вивченні кореляції між брекет-системою та утворенням м'якого зубного нальоту, а також вивчені індекси гігієни рота і проведено скануючу електронну мікроскопію, для вивчення просторової локалізації нальоту щодо компонентів незнімної ортодонтичної конструкції (брекет-системи)

Результати. Встановлено, що при лікуванні брекет-системою суттєво погіршується гігієнічний стан ротової порожнини, про що свідчить підвищення індексу Грін-Вермілона на 16,7% і тісно корелює з підвищенням мікробної колонізації емалі зубів, із розвитком зон вогнищевої демінералізації емалі, яка має специфічну морфологічну 3D мікроструктуру особливо на окремих ділянках коронки зуба і на межі брекет-емаль.

Висновок. Елементи брекет-системи у 100% випадків сприяють підвищеній ретенції бактеріальної мікрофлори з підвищеною інтенсивністю утворення зубного нальоту, який особливо виражений в області основи брекету і на вестибулярній поверхні зубів у пришийковій ділянці.

Ключові слова: брекет-система, ортодонтичне лікування, гігієна порожнини рота, біоплівка.

R.Ya. Romanyuk, *Postgraduate Student at the Department of Therapeutic Dentistry at Bukovinian State Medical University, 2 Marka Vovchka Street, Chernivtsi, Ukraine, postal code 58002, r.r.stomat@gmail.com, https://orcid.org/0009-0000-0978-361X*

N.V. Vatamaniuk, *Associate Professor at the Department of Therapeutic Dentistry, Bukovinian State Medical University, 2 Marka Vovchka Street, Chernivtsi, Ukraine postal code 58002, vatamaniuk.nataliia@bsmu.edu.ua, https://orcid.org/0000-0001-6485-2358*

COMPARATIVE ANALYSIS OF BIOFILM ADHESION TO BRACKET SYSTEMS OF VARIOUS DESIGNS

Introduction. The placement of fixed orthodontic appliances creates additional retention areas where dental biofilm can accumulate and makes it more difficult to maintain proper oral hygiene. Therefore, studying the characteristics of biofilm adhesion to the enamel surface and the components of orthodontic appliances is of great importance for the prevention of enamel demineralization and dental caries during orthodontic treatment.

Objective. To conduct a comparative analysis of dental plaque adhesion to the surfaces of orthodontic appliances of various designs; to determine the characteristics of their susceptibility to microbial colonization; and to assess the state of individual oral hygiene in patients undergoing treatment with fixed orthodontic appliances.

Materials and Methods. Clinical and morphological studies were conducted, focusing on the correlation between the brace system and the formation of soft dental plaque; oral hygiene indices were assessed; and scanning electron microscopy was performed to examine the spatial distribution of plaque relative to the components of fixed orthodontic appliances (braces).

Results. It was found that treatment with braces significantly worsens oral hygiene, as evidenced by a 16.7% increase in the Green-Vermilion index, which closely correlates with increased microbial colonization of tooth enamel, along with the development of areas of focal enamel demineralization, which exhibits a specific 3D morphological microstructure, particularly in certain regions of the tooth crown and at the bracket-enamel interface.

Conclusion. Bracket system components contribute, in 100% of cases, to increased retention of bacterial microflora with heightened plaque formation, which is particularly pronounced at the base of the bracket and on the buccal surface of the teeth in the cervical region.

Key words: braces, orthodontic treatment, oral hygiene, biofilm.

Вступ. Ортодонтичне лікування із застосуванням незнімної брекет-системи є одним із найбільш поширених методів корекції зубощелепних аномалій та деформацій [1]. Водночас наявність ортодонтичних конструкцій у порожнині рота істотно змінює умови формування зубного нальоту, створюючи додаткові ретенційні ділянки, у яких накопичуються компоненти пелікули, мікроорганізми та продукти їх метаболізму [2,3]. Це може сприяти формуванню зрілої мікробної біоплівки та підвищувати ризик демінералізації емалі, розвитку карієсу, гінгівіту й інших запальних уражень тканин пародонта [4–7]. Формування біоплівки на поверхні ортодонтичних конструкцій є багатофакторним процесом, який залежить від властивостей мікробіоти порожнини рота, складу слини, характеристик пелікули, особливостей гігієни та, що особливо важливо, фізико-хімічних властивостей матеріалу поверхні [8–10]. Шорсткість, мікрорельєф, поверхнева вільна енергія, здатність до зволоження (змочуваність) та хімічний склад матеріалу можуть визначати початкову адгезію мікроорганізмів, подальше накопичення біомаси та структурну організацію біоплівки [11–13]. Еволюція ортодонтичних брекет-систем супроводжувалася зміною їх конструкції, матеріалів та технології виготовлення. Поряд із традиційними металевими брекетами використовуються сучасні системи з модифікованою геометрією пазів, удосконаленими поверхнями, керамічними та іншими матеріалами [14–16]. Окреме місце посідають самолігуючі конструкції, у яких відсутність або зміна традиційного еластомерного лігатурного елемента потенційно впливає на характер накопичення нальоту та доступність поверхонь для очищення [17–19]. Таким чином, конструктивні особливості брекет-систем різних поколінь можуть створювати неоднакові умови для початкової адгезії мікроорганізмів і формування біоплівки [20–23].

Тому наша робота стосується формування біоплівки на поверхні брекет-систем залежно від конструктивних відмінностей різних поколінь брекет-систем і потенційного клінічного значення адгезії мікроорганізмів. Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених гігієнічним аспектам ортодонтичного лікування [24–27], результати порівняння різних типів брекет-систем щодо їх здатності сприяти адгезії біоплівки залишаються неоднозначними [18,20–22]. Це зумовлено відмінностями у складі досліджуваних матеріалів, методах оцінювання біоплівки, тривалості експерименту, складі мікробної культури та моделях, що використовуються для відтворення умов ротової порожнини [11, 20, 24]. Крім того, оцінка лише кількості накопиченого нальоту не завжди дозволяє визначити особливості взаємодії мікроорганізмів із конкретною

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

поверхнею ортодонтичної конструкції [12, 13]. У зв'язку з цим порівняльне дослідження адгезії біоплівки до брекет-систем різних поколінь має не лише експериментальне, але й практичне значення. Визначення конструкцій або матеріалів, поверхня яких характеризується меншою схильністю до колонізації мікроорганізмами, може бути важливим критерієм їх оцінки з позицій профілактики ортодонтично-асоційованих уражень емалі та пародонта [4,6, 26, 27]. Водночас такі дані можуть бути використані для вдосконалення матеріалів і технологій виготовлення ортодонтичних конструкцій [11,14,16].

Ортодонтичне лікування із застосуванням незнімної брекет-системи є одним із найбільш поширених методів корекції зубощелепних аномалій та деформацій. Водночас наявність ортодонтичних конструкцій у порожнині рота істотно змінює умови формування зубного нальоту, створюючи додаткові ретенційні ділянки, у яких накопичуються компоненти пелікули, мікроорганізми та продукти їх метаболізму. Це може сприяти формуванню зрілої мікробної біоплівки та підвищувати ризик демінералізації емалі, розвитку карієсу, гінгівіту й інших запальних уражень тканин пародонта. Формування біоплівки на поверхні ортодонтичних конструкцій є багатофакторним процесом, який залежить від властивостей мікробіоти порожнини рота, складу слини, характеристик пелікули, особливостей гігієни та, що особливо важливо, фізико-хімічних властивостей матеріалу поверхні. Шорсткість, мікрорельєф, поверхнева вільна енергія, змочуваність та хімічний склад матеріалу можуть визначати початкову адгезію мікроорганізмів, подальше накопичення біомаси та структурну організацію біоплівки. Еволюція ортодонтичних брекет-систем супроводжувалася зміною їх конструкції, матеріалів та технології виготовлення. Поряд із традиційними металевими брекетами використовуються сучасні системи з модифікованою геометрією пазів, удосконаленими поверхнями, керамічними та іншими матеріалами. Окреме місце посідають самолігуючі конструкції, у яких відсутність або зміна традиційного еластомерного лігатурного елемента потенційно впливає на характер накопичення нальоту та доступність поверхонь для очищення. Таким чином, конструктивні особливості брекет-систем різних поколінь можуть створювати неоднакові умови для початкової адгезії мікроорганізмів і формування біоплівки. Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених гігієнічним аспектам ортодонтичного лікування, результати порівняння різних типів брекет-систем щодо їх здатності сприяти адгезії біоплівки залишаються неоднозначними. Це зумовлено відмінностями у складі досліджуваних матеріалів, методах оцінювання біоплівки, тривалості експерименту, складі мікробної культури та моделях, що використовуються для відтворення умов ротової порожнини. Крім того, оцінка лише кількості накопиченого нальоту не завжди дозволяє визначити особливості взаємодії мікроорганізмів із конкретною поверхнею ортодонтичної конструкції.

У зв'язку з цим порівняльне дослідження адгезії біоплівки до брекет-систем різних поколінь має не лише експериментальне, але й практичне значення. Визначення конструкцій або матеріалів, поверхня яких характеризується меншою схильністю до колонізації мікроорганізмами, може бути важливим критерієм їх оцінки з позицій профілактики ортодонтично-асоційованих уражень емалі та пародонта. Водночас такі дані можуть бути використані для вдосконалення матеріалів і технологій виготовлення ортодонтичних конструкцій.

Еволюція ортодонтичних брекет-систем супроводжувалася зміною їх конструкції, матеріалів і технології виготовлення. Поряд із традиційними металевими брекетами використовуються сучасні системи з модифікованою геометрією пазів, удосконаленими поверхнями, керамічними та іншими матеріалами. Окреме місце посідають самолігуючі конструкції, в яких відсутність або зміна традиційного еластомерного лігатурного еле-

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

мента потенційно впливає на характер накопичення нальоту та доступність поверхонь для очищення. Таким чином, конструктивні особливості брекет-систем різних конструкцій можуть створювати неоднакові умови для початкової адгезії мікроорганізмів і формування біоплівки. Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених гігієнічним аспектам ортодонтичного лікування, результати порівняння різних типів брекет-систем щодо їх здатності сприяти адгезії біоплівки залишаються неоднозначними. Це зумовлено відмінностями у складі досліджуваних матеріалів, методах оцінювання біоплівки, тривалості експерименту, складі мікробної культури та моделях, що використовуються для відтворення умов ротової порожнини. Крім того, оцінка лише кількості накопиченого нальоту не завжди дозволяє визначити особливості взаємодії мікроорганізмів із конкретною поверхнею ортодонтичної конструкції. У зв'язку з цим порівняльне дослідження адгезії біоплівки до брекет-систем різних конструкцій має не лише експериментальне, але й практичне значення. Визначення конструкцій або матеріалів, поверхня яких характеризується меншою схильністю до колонізації мікроорганізмами, може бути важливим критерієм їх оцінки з позицій профілактики ортодонтично-асоційованих уражень емалі та пародонта. Водночас такі дані можуть бути використані для вдосконалення матеріалів і технологій виготовлення ортодонтичних конструкцій.

Мета дослідження – провести порівняльний аналіз адгезії біоплівки до поверхні брекет-систем різних конструкцій та визначити особливості їхньої схильності до колонізації мікроорганізмами, а також оцінити стан індивідуальної гігієни порожнини рота у пацієнтів під час лікування незнімними ортодонтичними конструкціями.

Матеріали і методи. В роботі приймали участь 30 пацієнтів, які проходили лікування брекет-системою протягом 12 місяців (середній вік 14,3±0,7 років). Огляд пацієнта проводили за державними стандартами і загальноприйнятим протоколом для стоматологічної клініки «Клініка Романюка» м. Івано-Франківська. Скануючу електронну мікроскопію (СЕМ) проводили методом виготовлення in vivo реплік-відпечатків поверхні емалі за авторською методикою [25]. Препарати досліджували в скануючому електронному мікроскопі SEM JEOL-25M -TA220 (Японія).

Результати. Після встановлення брекет-системи, незалежно від вихідного рівня гігієни порожнини рота, створюються додаткові умови для накопичення зубної біоплівки та ускладнюється механічне очищення поверхні зубів. Дані наукової літератури свідчать про значення конструктивних особливостей ортодонтичного апарата та мотивації пацієнта у підтриманні належної гігієни під час лікування [24, 23].

Однією з основних причин погіршення гігієнічного стану є складність очищення поверхні зубів у ділянці брекетів. Особливої уваги потребує зона безпосередньо навколо основи брекета та адгезивного шару, де формуються ретенційні ділянки для зубної біоплівки [3, 4]. Встановлено, що саме конструктивні особливості ортодонтичних апаратів визначають просторове розташування зубного нальоту та умови його утримання на поверхні зубів [1].

З метою оцінки впливу різних типів ортодонтичних конструкцій на умови проведення гігієни нами було розглянуто брекет-системи за локалізацією їх фіксації (табл. 1).

Таблиця 1

Типи брекет-систем за способом фіксації

Лінгвальні	Вестибулярні
Скрита конструкція, фіксація на оральну поверхню зубів	Зовнішня конструкція, кріплення на вестибулярну поверхню зубів

Якщо оцінювати складність догляду за кожною з цих систем, то, за результатами нашого дослідження, найбільш складним було очищення лінгвальної брекет-системи. Пацієнтам складніше візуально контролювати стан

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

ортодонтичної конструкції, а доступ до ділянок навколо замкових кріплень є обмеженим. У зв'язку з цим особливого значення набувають індивідуальне навчання гігієні, використання спеціальних засобів очищення та професійний контроль [6].

За тривалого носіння незнімної ортодонтичної конструкції недостатній контроль зубної біоплівки може супроводжуватися погіршенням стану твердих тканин зубів та тканин пародонту. Саме тому пацієнтам із фіксованими ортодонтичними апаратами рекомендований систематичний гігієнічний контроль протягом усього періоду лікування [4, 7].

Наступним етапом було оцінено конструктивні особливості лігатурних та самолігуючих брекет-систем. Основна відмінність між ними полягає у способі фіксації ортодонтичної дуги в пазі брекета [8, 9] (табл. 2).

Таблиця 2

Конструктивні особливості різних брекет-систем

Складові компоненти брекета	
Самолігуючий брекет	**Лігатурний брекет**
Основа, крила, паз, кліпса/кришка, ідентифікаційний маркер	Основа, крила, паз, ідентифікаційний маркер

У самолігуючій брекет-системі ортодонтична дуга утримується в пазі за допомогою вбудованої кліпси або кришки. Залежно від конструкції механізму розрізняють активні та пасивні самолігуючі системи [8, 9].

У лігатурній брекет-системі ортодонтична дуга фіксується за допомогою еластичної або металевої лігатури. Наявність додаткового лігатурного елемента формує додаткову поверхню для накопичення зубної біоплівки. Водночас результати порівняльних досліджень традиційних та самолігуючих брекетів щодо мікробної колонізації є неоднорідними, тому вплив самого способу лігування не можна розглядати ізольовано від інших конструктивних характеристик апарата [11, 14, 24].

При порівнянні керамічних та металевих брекет-систем було виявлено відмінності в умовах бактеріальної адгезії, що може бути пов'язано з властивостями матеріалу та характеристиками поверхні ортодонтичної конструкції [9, 22, 26].

Незалежно від типу брекет-системи її встановлення збільшує кількість потенційних ретенційних пунктів у порожнині рота. До них належать основа брекета, паз, крила, лігатури, дуги та інші ортодонтичні елементи. Формування таких мікроніш сприяє накопиченню та адгезії зубної біоплівки [27].

За нашими результатами, через 2 місяці після встановлення брекет-системи ознаки травматизації або мікротравматизації слизової оболонки порожнини рота були виявлені у 100% обстежених пацієнтів. Найчастіше вогнища травматизації локалізувалися в ділянці щоки, прилеглій до ортодонтичних елементів на молярах. У перші дні після встановлення незнімної ортодонтичної конструкції пацієнти також відзначали дискомфорт, що могло ускладнювати проведення звичайних гігієнічних процедур. Подібні суб'єктивні прояви дискомфорту описані в літературі як один із чинників адаптації пацієнта до ортодонтичного лікування [21].

Сукупність механічних та гігієнічних чинників створює умови для колонізації ортодонтичних конструкцій мікроорганізмами. Експериментальні дослідження показали, що різні типи фіксованих ортодонтичних апаратів можуть відрізнятися за рівнем адгезії мікроорганізмів, зокрема Streptococcus mutans та Candida albicans [23]. При цьому виявлення окремих мікроорганізмів у зубній біоплівці має оцінюватися з урахуванням конкретної методики дослідження. Тому в нашій роботі основну увагу було зосереджено на морфологічних особливостях локалізації та адгезії біоплівки до ортодонтичних поверхонь. За результатами СЕМ-дослідження встановлено виражене накопичення мікробної біоплівки в ділянці ортодонтичних конструкцій, особливо безпосередньо біля основи брекета та на межі «брекет–адгезив–емаль» (рис. 1).

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

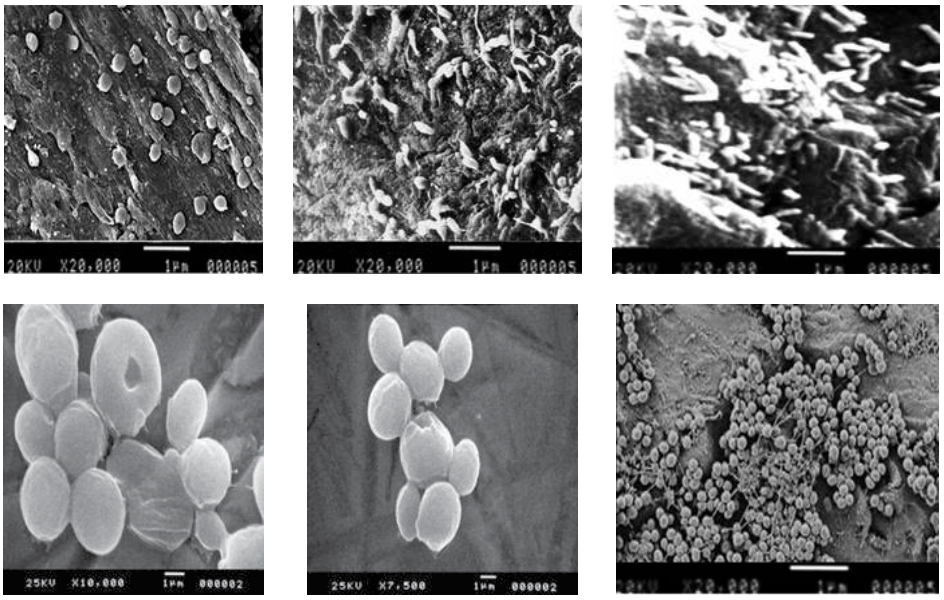


Рис. 1. СЕМ-зображення репліки з емалі зуба з фіксованою мікрофлорою відразу після зняття брекет-системи. Метод: СЕМ; Прискорююча напруга 20 кВ; оригінальне збільшення: а, б, в: х 20 000; г,е х10 000; д х 7 500; масштабний відрізок = 1 мкм.

Отримані морфологічні дані узгоджуються з результатами досліджень, у яких продемонстровано особливості розподілу зубного нальоту навколо бондингових брекетів [1]. Додатково встановлено, що матеріал та конструкція ортодонтичного апарата можуть впливати на рівень бактеріальної адгезії [22, 23, 26]. Тривала персистенція карієсогенної флори та зміна її метаболічної активності можуть сприяти локальному зниженню pH. Буферні властивості слини відіграють важливу роль у підтриманні кислотно-лужної рівноваги порожнини рота, а зміни її складу та pH можуть впливати на співвідношення процесів демінералізації та ремінералізації емалі [13, 14]. При формуванні кислих мікроекологічних умов зростає ризик демінералізації емалі, що клінічно може проявлятися появою крейдяних плям. Розвиток таких уражень є одним із найбільш поширених небажаних наслідків лікування фіксованими ортодонтичними апаратами [12, 20] (рис. 2).

На СЕМ-зображенні виявляється щільна лінійна структура, представлена численними ерозованими лініями емалі, переважно орієнтованими в одному напрямку. Лінії ерозованої емалі мають різну товщину, місцями формують пучкоподібні та пе рехресні комплекси, між якими визначаються порожнини неправильної форми та різного розміру. Структура характеризується нерівномірною щільністю укладання ліній: поряд із компактними ділянками наявні більш розріджені зони. На поверхні емалі визначаються поодинокі округлі або неправильної форми електронно-щільні структури. Загалом морфологічна картина відповідає сформованій, просторово організованій ерозованій матриці з нерівномірною пористістю.

У більшості випадків демінералізаційні зміни не обмежувалися одним зубом, а мали множинний характер. Це підкреслює необхідність комплексної профілактики ортодонтично-індукованої демінералізації, яка включає індивідуальну гігієну, мотивацію пацієнта, професійну гігієну та регулярний контроль стану емалі [9, 20, 24] (табл. 3).

За результатами нашого дослідження встановлено, що найчастіше карієс у стадії плями розвивається в пришийковій ділянці, на лінгвальній поверхні – над замком брекету, особливо при низькій висоті клінічної

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

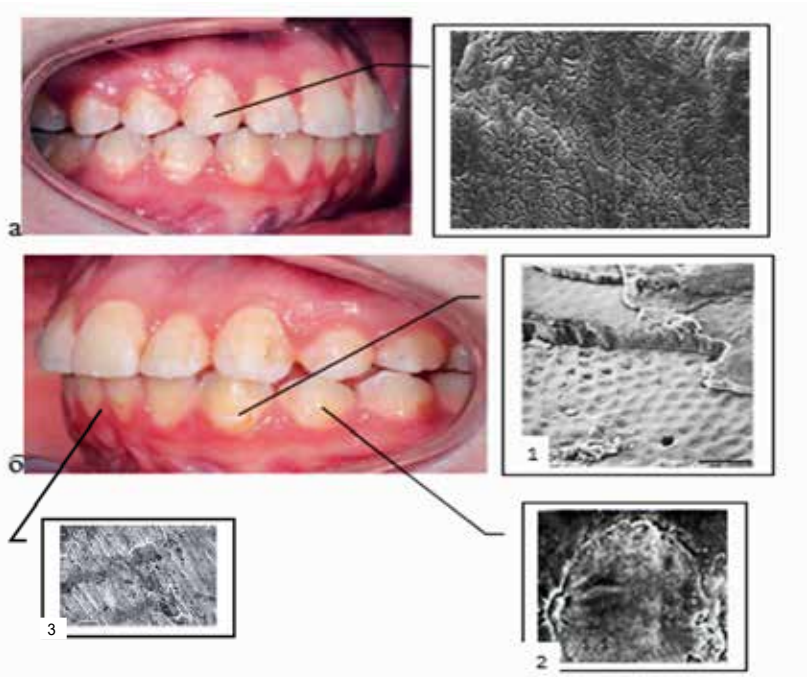


Рис. 2. а, б – Клінічне спостереження множинних каріозних плям на зубах верхньої і нижної щелепи після етапу ортодонтичного лікування протягом одного року. Вставки: а – узурація поверхневого мікрорельєфу; б 1 – каскадне сколювання кристалічного шару емалі та оголення призматичного шару емалі з вираженими ямками Томеса; б 2 –прямолінійна переважно поздовжньо-орієнтована, локальнои хвиляста організацію емалі; б 3- ерозійний поясок емалі навколо місця фіксації брекета. Метод: в, д – СЕМ; Прискорююча напруга 25 кВ; оригінальне збільшення: а х 1:1, б х 2000, вставка: масштабний відрізок = 10 мкм.

Таблиця 3

Зміни індексу гігієни порожнини рота в процесі ортодонтичного лікування

Індекс гігієни	До	Після
ОНІ-5	0,85±0,22	0,95±0,47*
КПВ	6,99±0,33	8,2±0,94**

Примітка: * – різниця статистично вірогідна при $p<0,05$; ** – різниця статистично вірогідна при $p<0,01$.

коронки. Рідше – навколо основи замка брекету [26]. Для того щоб мінімізувати ризик розвитку каріозного процесу та запальних захворювань пародонту, необхідно заздалегідь підготувати та поінформувати пацієнта про складність ортодонтичного лікування та особливості процесу гігієни при такому виді лікування.

Результати нашого дослідження добре узгоджуються з даними, що отримали інші автори, які досліджували різні конструкції брекет-системи [2, 7, 14]. На думку оких авторів, кількість Streptococcus mutans – одного з найбільш карієсогенних мікроорганізмів – збільшується після початку ортодонтичного лікування. Пояснюється це характером матеріалу брекет-системи, що сприяє росту ацидогенних бактерій [17]. Слід відмітити, що за даними наукових досліджень, колонізація мікроорганізмів на поверхні металевих і керамічних бекетів різна. У пацієнтів з керамічною брекет-системою виявлено 10^{7-8} (КОЕ)/мм^2 бактерій, з металевою – 10^{3-4} (КОЕ)/мм^2 бактерій [22]. Складність догляду за ротовою порожниною при брекет-системі полягає в тому, що це незнімний ортодонтичний апарат. Відповідно, у пацієнта нерідко відсутня можливість якісно видалити наліт із поверхні зубів. Якщо у пацієнта відзначається виражене зниження карієс резистентності, наявність некаріозних уражень тощо, то альтернативою може стати знімна конструкція – елайнери. Доведено,

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

що при проходженні лікування на елайнерах пацієнти мають менші проблеми з гігієною порожнини рота за рахунок можливості періодичного зняття конструкції [15, 18]. За результатами нашого дослідження встановлено, що найчастіше карієс у стадії плями розвивається в пришийковій ділянці – над замком брекету, особливо при низькій висоті клінічної коронки. Рідше – навколо основи замка брекету, що добре узгоджується з даними отриманими іншими авторами [24]. Інтенсивність карієсу зубів у пацієнтів, що знаходяться на лікуванні брекет-системами, призводить до збільшення значень індексів КПВ(з) на ортодонтичному прийомі до кінця першого року лікування [6], але контролювати виникнення процесу демінералізації під час ортодонтичної терапії можна шляхом застосування експрес-методу OHI-S та ТЕР-тесту емалі [5]. За рахунок зростання Str. mutans, Staphylococcus epidermidis, Enterococcus spp., Str. oralis, іноді Tannerella forsythia і Prevotella nigrescens спостерігається більш високий показник індексу зубного нальоту, особливо при застосуванні лігатурних брекет-систем з активними набухаючими еластичними тягами, що ускладнюють якість гігієнічної чистки. Важливими етіологічними факторами схильності до карієсу пацієнта з брекетами є імунодефіцитні зміни в слині, при яких виникає зниження синтезу імуноглобуліну A, M, G і активності лізоциму в ротовій рідині в період першого триместру після фіксації системи [7]. В ході своїх досліджень [13] виявили прояв прискореного відновлення вмісту sIgA, застосовуючи металеві незнімні ортодонтичні конструкції, що виявилося антибактеріальною дією іонів металів, отже, профілактичним заходом проти захворювань твердих тканин зуба [7]. Також на рівень осередкової демінералізації емалі зубів в ділянці прикріплення брекетів діє напруга в процесі фіксації апаратури композиційним клеєм на поверхню емалі, а також при застосуванні дебондінгу, який може привести до подряпин, сколів, мікротріщин емалі, що потім змінює мікроструктуру емалі [8]. Для покращення/стабілізації показників гігієни рекомендується використовувати базовий набір засобів особистої гігієни у регулярному порядку – зубна щітка, зубна паста. При цьому використання ультразвукової або електричної зубної щітки сприяє зниженню скупчення зубного нальоту, на відміну від мануальної щітки [9]. Важливо пам’ятати, що пацієнти з брекет-системою не зможуть очищати міжзубні проміжки за допомогою флосу, оскільки процесу проходження зубної нитки перешкоджатиме ортодонтична дуга (у разі незнімної конструкції). Додатковими засобами гігієни є: іригатор, AirFloss, ополіскувачі, монопучкова щітка, спеціальні зубні йоржики, які здатні видалити зубний наліт у замковому кріпленні [26]. Крім того, для зменшення тертя конструкції об слизові оболонки рекомендується використання спеціального ортодонтичного воску. Чищення зубів рекомендується проводити не рідше 2–3 разів на день, а після кожного прийому їжі бажано обполіскувати порожнину рота водою. При незадовільному рівні гігієни ротової порожнини, що встановлюється до початку ортодонтичного лікування, рекомендується проведення професійної гігієни, реміналізуючої терапії та навчання навичкам стоматологічної гігієни, особливо в комплексі з брекет-системою [26]. Навіть після ортодонтичного лікування пацієнти мають труднощі з відновленням гігієни порожнини рота – нами встановлено, що у 97% пацієнтів після дебондингу брекет-конструкції виявляються локуси вогнищевої демінералізації.

Однак протягом 1,5 місяців спостерігається стабілізація флори, зокрема Lactobacillus, що підтверджує зворотний вплив ортодонтичної конструкції на склад мікрофлори ротової порожнини [17]. При цьому такі дослідження мають проводитись із паралельним вивченням буферних властивостей слини пацієнта, оскільки саме вона є ключовим копмонентом системи стабілізації стану СОПР в цілому і її pH зокрема [13, 24]. Через низький рівень гігієни після дебондингу брекет-системи часто виявляється карієс у стадії плями (К 02.0

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

за МКХ-10), що нами спостерігалось у значної кількості пацієнтів.

Результати дослідження показали, що після встановлення брекет-системи, незалежно від вихідного рівня гігієни порожнини рота, створюються додаткові умови для накопичення зубної біоплівки та ускладнюється механічне очищення поверхні зубів. Дані наукової літератури свідчать про значення конструктивних особливостей ортодонтичного апарата та мотивації пацієнта у підтриманні належної гігієни під час лікування [6, 10, 11].

Однією з основних причин погіршення гігієнічного стану є складність очищення поверхні зубів у ділянці брекетів. Особливої уваги потребує зона безпосередньо навколо основи брекета та адгезивного шару, де формуються ретенційні ділянки для зубної біоплівки [12, 16]. Встановлено, що саме конструктивні особливості ортодонтичних апаратів визначають просторове розташування зубного нальоту та умови його утримання на поверхні зубів.

У самолігуючій брекет-системі ортодонтична дуга утримується в пазі за допомогою вбудованої кліпси або кришки. Залежно від конструкції механізму розрізняють активні та пасивні самолігуючі системи [2, 7].

У лігатурній брекет-системі ортодонтична дуга фіксується за допомогою еластичної або металевої лігатури. Наявність додаткового лігатурного елемента формує додаткову поверхню для накопичення зубної біоплівки. Водночас результати порівняльних досліджень традиційних та самолігуючих брекетів щодо мікробної колонізації є неоднорідними, тому вплив самого способу лігування не можна розглядати ізольовано від інших конструктивних характеристик апарата [11, 14, 24].

При порівнянні керамічних та металевих брекет-систем було виявлено відмінності в умовах бактеріальної адгезії, що може бути пов’язано з властивостями матеріалу та характеристиками поверхні ортодонтичної конструкції [9, 22, 26].

Незалежно від типу брекет-системи її встановлення збільшує кількість потенційних ретенційних пунктів у порожнині рота. До них належать основа брекета, паз, крила, лігатури, дуги та інші ортодонтичні елементи. Формування таких мікроніш сприяє накопиченню та адгезії зубної біоплівки [27].

За нашими результатами, через 2 місяці після встановлення брекет-системи ознаки травматизації або мікротравматизації слизової оболонки порожнини рота були виявлені у 100% обстежених пацієнтів. Найчастіше вогнища травматизації локалізувалися в ділянці щоки, прилеглій до ортодонтичних елементів на молярах. У перші дні після встановлення незнімної ортодонтичної конструкції пацієнти також відзначали дискомфорт, що могло ускладнювати проведення звичайних гігієнічних процедур. Подібні суб’єктивні прояви дискомфорту описані в літературі як один із чинників адаптації пацієнта до ортодонтичного лікування [21].

Сукупність механічних та гігієнічних чинників створює умови для колонізації ортодонтичних конструкцій мікроорганізмами. Експериментальні дослідження показали, що різні типи фіксованих ортодонтичних апаратів можуть відрізнятися за рівнем адгезії мікроорганізмів, зокрема Streptococcus mutans та Candida albicans [24] і що особливо важливо з утворенням бактеріальної біоплівки на лінгвальній поверхні коронки зубів.

При цьому виявлення окремих мікроорганізмів у зубній біоплівці має оцінюватися з урахуванням конкретної методики дослідження. Тому в нашій роботі основну увагу було зосереджено на морфологічних особливостях локалізації та адгезії біоплівки до поверхонь, які контактують з ортодонтичними конструкціями

Отримані морфологічні дані узгоджуються з результатами досліджень, у яких продемонстровано особливості розподілу зубного нальоту навколо бондингових брекетів [1]. Додатково встановлено, що матеріал та конструкція ортодонтичного апарата можуть впливати на рівень бактеріальної адгезії [22, 23, 26].

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

Тривала персистенція карієсогенної флори та зміна її метаболічної активності можуть сприяти локальному зниженню pH. Буферні властивості слини відіграють важливу роль у підтриманні кислотно-лужної рівноваги порожнини рота, а зміни її складу та pH можуть впливати на співвідношення процесів демінералізації та ремінералізації емалі [13, 14].

У більшості випадків демінералізаційні зміни не обмежувалися одним зубом, а мали множинний характер. Це підкреслює необхідність комплексної профілактики ортодонтично-індукованої демінералізації, яка включає індивідуальну гігієну, мотивацію пацієнта, професійну гігієну та регулярний контроль стану емалі.

За результатами нашого дослідження встановлено, що найчастіше карієс у стадії плями розвивається в пришийковій ділянці – над замком брекету, особливо при низькій висоті клінічної коронки. Рідше – навколо основи замка брекету [26]. Для того щоб мінімізувати ризик розвитку каріозного процесу та запальних захворювань пародонту, необхідно заздалегідь підготувати та поінформувати пацієнта про складність ортодонтичного лікування та особливості процесу гігієни при такому виді лікування.

Результати нашого дослідження добре узгоджуються з даними, які отримали інші автори, що досліджували різні конструкції брекет-системи [2, 7, 14]. На думку деяких авторів, кількість Streptococcus mutans – одного з найбільш карієсогенних мікроорганізмів – збільшується після початку ортодонтичного лікування. Пояснюється це характером матеріалу брекет-системи, що сприяє росту ацидогенних бактерій [17]. Слід відмітити, що за даними наукових досліджень, колонізація мікроорганізмів на поверхні металевих і керамічних бекетів різна. У пацієнтів з керамічною брекет-системою виявлено 10^{7-8} (КОЕ)/мм^2 бактерій, з металевою – 10^{3-4} (КОЕ)/мм^2 бактерій [22]. Складність догляду за ротовою порожниною при брекет-системі полягає в тому, що це незнімний ортодонтичний апарат. Відповідно, у пацієнта нерідко відсутня можливість якісно видалити наліт із поверхні зубів. Якщо у пацієнта відзначається виражене зниження карієс резистентності, наявність некаріозних уражень тощо, то альтернативою може стати знімна конструкція – елайнери. Доведено, що при проходженні лікування на елайнерах пацієнти мають менші проблеми з гігієною порожнини рота за рахунок можливості періодичного зняття конструкції [15, 18]. За результатами нашого дослідження встановлено, що найчастіше карієс у стадії плями розвивається в пришийковій ділянці – над замком брекету, особливо при низькій висоті клінічної коронки. Рідше – навколо основи замка брекету, що добре узгоджується з даними отриманими іншими авторами [24]. Інтенсивність карієсу зубів у пацієнтів, що знаходяться на лікуванні брекет-системами, призводить до збільшення значень індексів КПВ(з) на ортодонтичному прийомі до кінця першого року лікування [6], але контролювати виникнення процесу демінералізації під час ортодонтичної терапії можна шляхом застосування експрес-методу OHI-S та ТЕР-тесту емалі [5]. За рахунок зростання Str. mutans, Staphylococcus epidermidis, Enterococcus spp., Str. oralis, іноді Tannerella forsythia і Prevotella nigrescens спостерігається більш високий показник індексу зубного нальоту, особливо при застосуванні лігатурних брекет-систем з активними набухаючими еластичними тягами, що ускладнюють якість гігієнічної чистки. Важливими етіологічними факторами схильності до карієсу пацієнта з брекетами є імунодефіцитні зміни в слині, при яких виникає зниження синтезу імуноглобуліну A, M, G і активності лізоциму в ротовій рідині в період першого триместру після фіксації системи [7]. В ході своїх досліджень [13] виявили прояв прискореного відновлення вмісту sIgA, застосовуючи металеві незнімні ортодонтичні конструкції, що виявилося антибактеріальною дією іонів металів, отже, профілактичним заходом проти захворювань твердих тканин зуба [7]. Також на

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

рівень осередкової демінералізації емалі зубів в ділянці прикріплення брекетів діє напруга в процесі фіксації апаратури композиційним клеєм на поверхню емалі, а також при застосуванні дебондінгу, який може привести до подряпин, сколів, мікротріщин емалі, що потім змінює мікроструктуру емалі [8]. Для покращення/стабілізації показників гігієни рекомендується використовувати базовий набір засобів особистої гігієни у регулярному порядку – зубна щітка, зубна паста. При цьому використання ультразвукової або електричної зубної щітки сприяє зниженню скупчення зубного нальоту, на відміну від мануальної щітки [9]. Важливо пам'ятати, що пацієнти з брекет-системою не зможуть очищати міжзубні проміжки за допомогою флосу, оскільки процесу проходження зубної нитки перешкоджатиме ортодонтична дуга (у разі незнімної конструкції). Додатковими засобами гігієни є: іригатор, AirFloss, ополіскувачі, монопучкова щітка, спеціальні зубні йоржики, які здатні видалити зубний наліт у замковому кріпленні [25]. Крім того, для зменшення тертя конструкції об слизові оболонки рекомендується використання спеціального ортодонтичного воску. Чищення зубів рекомендується проводити не рідше 2–3 разів на день, а після кожного прийому їжі бажано обполіскувати порожнину рота водою. При незадовільному рівні гігієни ротової порожнини, що встановлюється до початку ортодонтичного лікування, рекомендується проведення професійної гігієни, ремінералізуючої терапії та навчання навичкам стоматологічної гігієни, особливо в комплексі з брекет-системою [26]. Навіть після ортодонтичного лікування пацієнти мають труднощі з відновленням гігієни порожнини рота – нами встановлено, що у 97% пацієнтів після дебондингу брекет-конструкції виявляються локуси вогнищевої демінералізації.

Однак протягом 1,5 місяців спостерігається стабілізація флори, зокрема Lactobacillus, що підтверджує зворотний вплив ортодонтичної конструкції на склад мікрофлори ротової порожнини [17]. При цьому такі дослідження мають проводитись із паралельним вивченням буферних властивостей слини пацієнта, оскільки саме вона є ключовим копмонентом системи стабілізації стану СОПР в цілому та її pH, зокрема [13, 27]. Через низький рівень гігієни після дебондингу брекет-системи часто виявляється карієс у стадії плями (К 02.0 за МКХ-10), що нами спостерігалось у значної кількості пацієнтів.

Обговорення. Отримані результати підтверджують, що фіксація незнімної ортодонтичної конструкції створює принципово нові умови для формування та утримання зубної біоплівки. Наявність брекета, дуги, пазу, крил, лігатури або інших конструктивних елементів збільшує кількість ретенційних мікроніш і водночас ускладнює механічне видалення нальоту. Це узгоджується з даними досліджень, у яких продемонстровано нерівномірний розподіл зубної біоплівки навколо бондингових брекетів та залежність її накопичення від конструктивних характеристик ортодонтичного апарата [2, 3, 11]. Важливим результатом нашого дослідження є морфологічне підтвердження локалізації біоплівки переважно в ділянці основи брекета та на межі «брекет–адгезив–емаль». Саме ця зона має найбільше значення з позицій формування стабільної мікроніші, оскільки поєднує нерівності поверхні, адгезивний шар та обмежений доступ для механічного очищення. Виявлена за допомогою СЕМ просторово організована біоплівка свідчить, що проблема полягає не лише у збільшенні загальної кількості нальоту, але й у зміні характеру його локалізації та утримання на поверхні зуба. Подібні особливості розподілу нальоту навколо ортодонтичних конструкцій описані раніше [2, 10, 11]. Формування біоплівки не можна пояснювати лише наявністю додаткової поверхні для колонізації. Важливу роль відіграють фізико-хімічні характеристики матеріалу, зокрема шорсткість, мікрорельєф, поверхнева енергія та змочуваність. Саме ці властивості визначають сили взаємодії між мікроорганізмами та поверхнею ортодонтичного апарата

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

і можуть впливати на стабільність початкової адгезії [10,11]. Отже, конструкція брекета та матеріал, з якого він виготовлений, слід розглядати як взаємопов'язані чинники, що формують умови для подальшого розвитку біоплівки.

Особливого значення набуває порівняння лігатурних та самолігуючих систем. Лігатурний елемент збільшує кількість поверхонь, на яких може затримуватися біоплівка, однак наявні дані не дозволяють вважати сам спосіб лігування єдиним визначальним чинником мікробної колонізації. Систематичні огляди та порівняльні дослідження демонструють неоднорідність результатів щодо переваг самолігуючих систем у контексті накопичення нальоту та мікробної колонізації [12–14, 16]. Тому більш обґрунтованим є комплексний підхід, за якого враховуються одночасно геометрія брекета, тип лігування, матеріал, мікрорельєф поверхні та можливість доступу до неї під час гігієнічних процедур.

Наші спостереження щодо відмінностей між металевими та керамічними конструкціями також відповідають експериментальним даним про залежність адгезії *Streptococcus mutans* від матеріалу естетичних брекетів [9]. Водночас літературні дані свідчать, що характер мікробної колонізації не може бути безпосередньо перенесений з однієї конструкції на іншу лише за ознакою матеріалу [9, 11]. Це пояснюється тим, що однаковий матеріал може мати різні характеристики поверхні залежно від технології виготовлення, полірування та конструкції конкретного брекета.

Особливе значення має зона контакту «брекет–адгезив–емаль». Саме тут формується складна поверхнева система, у якій взаємодіють ортодонтичний матеріал, адгезив, емаль, пелікула та мікроорганізми. Дослідження сил бактеріальної адгезії показали, що властивості цієї зони можуть суттєво впливати на взаємодію мікроорганізмів із поверхнею [10]. Тому виявлене нами накопичення біоплівки безпосередньо біля основи брекета має не лише морфологічне, але й патогенетичне значення.

Виявлене погіршення показників гігієни також слід розглядати як результат взаємодії конструктивних та поведінкових факторів. За нашими даними, показник OHI-5 збільшився з 0,85±0,22 до 0,95±0,47 ($p<0,05$), а КПВ – з 6,99±0,33 до 8,2±0,94 ($p<0,01$). Це свідчить про несприятливу динаміку гігієнічного та стоматологічного статусу протягом ортодонтичного лікування. Подібний ризик підтверджується систематичними оглядами, які розглядають фіксовані ортодонтичні апарати як фактор підвищення ризику карієсу та демінералізації емалі [6,20,22–24].

Принципово важливим є те, що клінічні зміни узгоджуються з морфологічними даними СЕМ. У зоні фіксації брекетів виявлялися ознаки структурної перебудови поверхневих шарів емалі, нерівномірність мікрорельєфу, ерозивні зміни та ділянки підвищеної пористості. Таке поєднання мікробної колонізації та зміни поверхні емалі створює умови для формування замкненого патологічного процесу: ретенція біоплівки сприяє зміні локального мікросередовища, а зміна поверхні емалі, своєю чергою, може створювати додаткові умови для утримання біоплівки. У цьому контексті ортодонтична демінералізація є не лише наслідком недостатньої гігієни, а результатом взаємодії конструкції, біоплівки, властивостей слини та резистентності емалі [8, 10, 22, 24].

Важливим механізмом цього процесу є зміна локального кислотно-лужного середовища. Персистенція карієсогенної мікрофлори та її метаболічна активність можуть сприяти зниженню pH, унаслідок чого зміщується рівновага між демінералізацією та ремінералізацією емалі. При цьому буферна ємність і склад слини можуть модифікувати вираженість цих змін [8]. Отже, оцінка ризику демінералізації під час ортодонтичного лікування має враховувати не тільки кількість нальоту, але й індивідуальні характеристики слини та стан емалі.

Виявлення ознак травматизації або мікротравматизації слизової оболонки у 100% обстежених пацієнтів через два місяці після встановлення апаратури доповнює уявлення

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

про комплексний вплив незнімних ортодонтичних конструкцій. Механічний контакт елементів апарата зі слизовою оболонкою та пов'язаний із цим дискомфорт можуть ускладнювати адаптацію пацієнта і, опосередковано, виконання гігієнічних процедур. Подібний взаємозв'язок між функціональним і соціальним дискомфортом та адаптацією до ортодонтичного лікування описаний у клінічних дослідженнях [27].

Водночас отримані результати свідчать, що ризик біоплівкоутворення не може бути віднесений виключно до певного покоління або типу брекет-системи. Літературні дані демонструють неоднорідність результатів порівняння традиційних і самолігуючих конструкцій, а також різних матеріалів [9,12–16]. Тому практично важливим є не саме формальне визначення «кращої» конструкції, а оцінка сукупності її характеристик: кількості ретенційних зон, доступності поверхонь для очищення, особливостей лігування, матеріалу, мікрорельєфу та взаємодії з адгезивом.

Наші результати також підтверджують необхідність індивідуалізації профілактичних заходів. Систематичні огляди показують, що професійна гігієна, регулярний контроль і навчання пацієнтів можуть зменшувати накопичення нальоту та ризик демінералізації під час лікування незнімними ортодонтичними апаратами [17,18,20,22,23]. Отже, профілактична стратегія повинна починатися ще до фіксації брекет-системи та продовжуватися протягом усього періоду ортодонтичного лікування.

Особливе значення має мотивація пацієнта. Навіть конструкція з потенційно сприятливішими характеристиками поверхні не може повністю компенсувати недостатню якість індивідуальної гігієни. Систематичний огляд та метааналіз показують, що мотиваційні методи можуть покращувати гігієнічну поведінку ортодонтичних пацієнтів [17]. Тому вибір конструкції має супроводжуватися чітким алгоритмом гігієнічного супроводу, професійним контролем і повторним навчанням пацієнта.

Практичне значення отриманих результатів полягає також у можливості використання морфологічного контролю для оцінки поверхні емалі та характеру локалізації біоплівки. Використана нами методика отримання реплік поверхні емалі для СЕМ-дослідження дає змогу вивчати мікроструктурні зміни без прямого руйнування досліджуваної тканини [25]. Це розширює можливості морфологічної оцінки ортодонтично-асоційованих змін і може бути корисним для подальшого порівняння різних ортодонтичних матеріалів та технологій.

Водночас результати необхідно інтерпретувати з урахуванням обмежень дослідження. Обстежена група становила 30 пацієнтів, а оцінювання біоплівки проводили переважно морфологічним методом із використанням СЕМ-реплік. Тому отримані дані дозволяють характеризувати просторову локалізацію та морфологічні особливості біоплівки, але не дають підстав безпосередньо кількісно визначати її мікробний склад або встановлювати причинно-наслідкові зв'язки між конкретним матеріалом брекета та кількістю окремих видів мікроорганізмів. Перспективним є поєднання СЕМ-морфології з кількісною мікробіологічною оцінкою, аналізом властивостей поверхні, параметрів слини та стандартизованою оцінкою гігієнічної поведінки.

Таким чином, результати дослідження дають підстави розглядати ортодонтичну конструкцію не просто як механічний елемент лікування, а як активний модифікатор мікроекології порожнини рота. Саме поєднання конструктивних особливостей брекета, властивостей матеріалу, доступності поверхні для очищення та індивідуальної гігієни визначає умови формування біоплівки. Виявлена локалізація біоплівки в зоні «брекет–адгезив–емаль» та паралельне погіршення гігієнічних показників підкреслюють необхідність профілактичного супроводу ортодонтичного лікування протягом усього періоду носіння незнімної конструкції.

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

Висновки. 1. Фіксація незнімних ортодонтичних конструкцій створює додаткові ретенційні мікроніші та ускладнює механічне очищення поверхні зубів, що сприяє накопиченню та просторовій організації зубної біоплівки переважно в ділянці основи брекета і на межі «брекет–адгезив–емаль»;

2. Морфологічне СЕМ-дослідження підтвердило, що характер адгезії біоплівки визначається не лише наявністю ортодонтичної конструкції, але й комплексом її конструктивних і поверхневих характеристик. Матеріал брекета, мікрорельєф, наявність лігатурних елементів та конфігурація ретенційних зон можуть модифікувати умови мікробної колонізації;

3. Лігатурні та самолігуючі брекет-системи не можна протиставляти лише за принципом «більше–менше біоплівки». Мікробна колонізація визначається сукупним впливом конструкції, матеріалу, поверхневих властивостей та доступності елементів апарата для гігієнічного очищення;

4. Протягом ортодонтичного лікування виявлено несприятливу динаміку гігієнічного та стоматологічного статусу: індекс OHI-5 підвищився з 0,85±0,22 до 0,95±0,47 ($p<0,05$), а показник КПВ – з 6,99±0,33 до 8,2±0,94 ($p<0,01$). Це підтверджує необхідність постійного гігієнічного супроводу пацієнтів із незнімними ортодонтичними конструкціями;

5. Найбільш виражені демінералізаційні зміни локалізувалися у пришийковій ділянці над замком брекета та навколо його основи. СЕМ виявила порушення мікрорельєфу, ерозивні зміни та нерівномірну пористість поверхні емалі, що узгоджується з роллю біоплівки, локальних змін pH та особливостей поверхні в розвитку ортодонтично-асоційованої демінералізації;

6. Ознаки травматизації або мікротравматизації слизової оболонки через два місяці після встановлення ортодонтичної конструкції виявлено у 100% обстежених пацієнтів, що підкреслює необхідність урахування не лише карієсогенного та пародонтологічного, але й механічного впливу ортодонтичної апаратури.

7. Профілактика біоплівко-асоційованих ускладнень під час ортодонтичного лікування повинна ґрунтуватися на комплексному підході, що включає вибір конструкції з урахуванням її ретенційних властивостей, індивідуальне навчання гігієні, мотивацію пацієнта, професійну гігієну та регулярний контроль стану емалі й пародонта [17, 18, 20, 22, 23].

8. Отримані результати обґрунтовують доцільність подальших комплексних досліджень, у яких морфологічну оцінку адгезії біоплівки доцільно поєднувати з кількісним мікробіологічним аналізом, дослідженням фізико-хімічних властивостей поверхні брекетів та оцінкою параметрів слини. Це дозволить точніше визначити внесок окремих конструктивних і матеріалознавчих чинників у формування ортодонтично-асоційованої біоплівки.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення взаємозв'язку між психоемоційним станом пацієнтів з незнімними ортодонтичними конструкціями у воєнний час, змінами у мікробіоті рота та ризиком розвитку запальних процесів порожнини рота. Актуальним є також розширення аналізу впливу полімікробних асоціацій на різних термінах користування брекет-системами, вивчення ефективності пробіотичної та антимікробної терапії, а також розробка міждисциплінарних моделей прогнозування ускладнень брекет-систем, що будуть враховувати біологічні, психологічні та соціальні чинники, які впливають на показники якості життя тематичних пацієнтів. Особливу увагу слід приділити внутрішньо переміщеним особам, які перебувають у стані хронічного стресу та мають обмежений доступ до якісної медичної допомоги.

Використання штучного інтелекту. Під час підготовки статті інструменти штучного інтелекту використовувалися виключно для мовного редагування, перевірки граматики, перекладу або інших допоміжних завдань, без використання згенерованих ними об'єктів як результатів академічної діяльності.

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

Література:

1. Lombardo G., Vena F., Negri P., Pagano S., Barone A., Barilotti C., Paglia L., Colombo S., Orso M., Cianetti S. Worldwide prevalence of malocclusion in the different stages of dentition: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Paediatric Dentistry*. 2020. Vol. 21, No. 2. P. 115–122. DOI: https://doi.org/10.23804/ejpd.2020.21.02.05.
2. Gwinnett A. J., Ceen R. F. Plaque distribution on bonded brackets: a scanning microscope study. *American Journal of Orthodontics*. 1979. Vol. 75, No. 6. P. 667–677. DOI: https://doi.org/10.1016/0002-9416(79)90098-8.
3. van Gastel J., Quirynen M., Teughels W., Coucke W., Carels C. Influence of bracket design on microbial and periodontal parameters in vivo. *Journal of Clinical Periodontology*. 2007. Vol. 34, No. 5. P. 4230431. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2007.01070.x.
4. Naranjo A. A., Trivio M. L., Jaramillo A., Betancourth M., Botero J. E. Changes in the subgingival microbiota and periodontal parameters before and 3 months after bracket placement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2006. Vol. 130, No. 3. P. 275.e17–275.e22. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.10.022.
5. Freitas A. O. A., Marquezan M., Nojima M. C. G., Alviano D. S., Maia L. C. The influence of orthodontic fixed appliances on the oral microbiota: a systematic review. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2014. Vol. 19, No. 2. P. 46–55. DOI: https://doi.org/10.1590/2176-9451.19.2.046-055.oar.
6. Dulnicka I., Jedliski M., Padella S., Corridore D., Mazur M. Fixed appliances orthodontic therapy as a risk factor for caries development: systematic review. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*. 2024. Vol. 33, No. 10. P. 1153–1161. DOI: https://doi.org/10.17219/acem/174444.
7. Karkhanechi M., Chow D., Sipkin J., Sherman D., Boylan R. J., Norman R. G., Craig R. G., Cisneros G. J. Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy. *The Angle Orthodontist*. 2013. Vol. 83, No. 1. P. 146–151. DOI: https://doi.org/10.2319/031212-217.1.
8. Teixeira H. S., Stella M. O., Jucienne S. R. et al. Calcium, amylase, glucose, total protein concentrations, flow rate, pH and buffering capacity of saliva in patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2012. Vol. 17, No. 2. P. 157–161. DOI: https://doi.org/10.1590/S2176-94512012000200026.
9. Faltermeier A., Brgers R., Rosentritt M. Bacterial adhesion of *Streptococcus mutans* to esthetic bracket materials. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2008. Vol. 133, No. 4, Suppl. P. 99–103. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.03.024.
10. Mei L., Busscher H. J., van der Mei H. C., Chen Y., de Vries J., Ren Y. Oral bacterial adhesion forces to biomaterial surfaces constituting the bracket-adhesive-enamel junction in orthodontic treatment. *European Journal of Oral Sciences*. 2009. Vol. 117, No. 4. P. 419–426. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2009.00648.x.
11. Fernandes R. B., Polo A. B., Rocha V. N., Vitral R. W. F., Apolnio A. C. M., Campos M. J. S. Influence of orthodontic brackets design and surface properties on the cariogenic *Streptococcus mutans* adhesion. *The Saudi Dental Journal*. 2022. Vol. 34, No. 4. P. 321–327. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2022.03.008.
12. Raphalle Maizeray, Delphine Wagner, Yves Bolender Is there any difference between conventional, passive and active self-ligating brackets? A systematic review and network meta-analysis. *International Orthodontics*. 2021. Vol. 19, No. 4. P. 523–538. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ortho.2021.09.005.
13. Fleming P. S., Johal A. Self-ligating brackets in orthodontics. A systematic review. *The Angle Orthodontist*. 2010. Vol. 80, No. 3. P. 575–584. DOI: https://doi.org/10.2319/081009-454.1.
14. Parmar N. P., Thompson G. L., Atack N. E., Ireland A. J., Sherriff M., Haworth J. A. Microbial colonisation associated with conventional and self-ligating brackets: a systematic review. *Journal of Orthodontics*. 2022. Vol. 49, No. 2. P. 151–162. DOI: https://doi.org/10.1177/14653125211056023.
15. Saloom H. F., Mohammed-Salih H. S., Rasheed S. F. The influence of different types of fixed orthodontic appliance on the growth and adherence of microorganisms: in vitro study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. 2013. Vol. 5, No. 1. P. 36–41. DOI: https://doi.org/10.4317/jced.50988.
16. Cardoso M. A., Saraiva P. P., Maltagliati L. A., Rhoden F. K., Costa C. C. A., Normando D. et al. Alterations in plaque accumulation and gingival inflammation promoted by treatment with self-ligating and conventional orthodontic brackets. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2015. Vol. 20, No. 2. P. 35–41. DOI: https://doi.org/10.1590/2176-9451.20.2.035-041.oar.
17. Huang J., Yao Y., Jiang J., Li C. Effects of motivational methods on oral hygiene of orthodontic patients: a systematic review and meta-analysis. *Medicine*. 2018. Vol. 97, No. 47. Art. e13182. DOI: https://doi.org/10.1097/MD.0000000000013182.
18. Di Spirito F., Amato A., Di Palo M. P., Cannat D., Giordano F., D Ambrosio F., Martina S. Periodontal management in periodontally healthy orthodontic patients with fixed appliances: an umbrella review

of self-care instructions and evidence-based recommendations. *Dentistry Journal*. 2023. Vol. 11, No. 2. Art. 35. DOI: https://doi.org/10.3390/dj11020035.
19. Kim J. E., Kim S., Kim D. H. Comparison of oral health status, oral hygiene management behaviours and satisfaction of patients with fixed orthodontic appliance and clear aligner: a quasi-experimental design. *International Journal of Dental Hygiene*. 2024. Vol. 22, No. 4. P. 939–948. DOI: https://doi.org/10.1111/idh.12813.
20. Migliorati M., Isaia L., Cassaro A., Rivetti A., Silvestrini-Biavati F., Gastaldo L. et al. Efficacy of professional hygiene and prophylaxis on preventing plaque increase in orthodontic patients with multibracket appliances: a systematic review. *European Journal of Orthodontics*. 2015. Vol. 37, No. 3. P. 297–307. DOI: https://doi.org/10.1093/ejo/cju044.
21. Oikonomou E., Foros P., Tagkli A., Rahiotis C., Eliades T., Koletsi D. Impact of aligners and fixed appliances on oral health during orthodontic treatment: a systematic review and meta-analysis. *Oral Health & Preventive Dentistry*. 2021. Vol. 19. P. 659–672. DOI: https://doi.org/10.3290/j.ohpd.b2403661.
22. Tasios T., Papadimitriou A., Papageorgiou S. N., Tsogkas G., Eliades T., Bourzgui F. Prevention of orthodontic enamel demineralization: a systematic review with meta-analyses. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2019. Vol. 22, No. 4. P. 225–235. DOI: https://doi.org/10.1111/ocr.12322.
23. Derks A., Katsaros C., Frencken J. E., van Hof M. A., Kuijpers-Jagtman A. M. Caries-inhibiting effect of preventive measures during orthodontic treatment with fixed appliances: a systematic review. *Caries Research*. 2004. Vol. 38, No. 5. P. 413–420. DOI: https://doi.org/10.1159/000079621.
24. Chapman J. A., Roberts W. E., Eckert G. J., Kula K. S., Gonzlez-Cabezas C. Risk factors for incidence and severity of white spot lesions during treatment with fixed orthodontic appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2010. Vol. 138, No. 2. P. 188–194. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.10.019.
25. Романюк РЯ, Гевкалюк НО. Спосіб приготування реплік з поверхні емалі зуба в клінічній практиці для дослідження в скануючому електронному мікроскопі. Авторське свідоцтво №141444. Зареєстровано 08.12.2025. Опубліковано: Бюлетень «Авторське право і суміжні права». 2026;97:77.
26. Janiszewska-Olszowska J., Szatkiewicz T., Tomkowski R., Tandecka K., Grocholewicz K. Effect of orthodontic debonding and adhesive removal on the enamel: current knowledge and future perspectives: a systematic review. *Medical Science Monitor*. 2014. Vol. 20. P. 1991–2001. DOI: https://doi.org/10.12659/MSM.890912.
27. Sergl H. G., Klages U., Zentner A. Functional and social discomfort during orthodontic treatment: effects on compliance and prediction of patients adaptation by personality variables. *European Journal of Orthodontics*. 2000. Vol. 22, No. 3. P. 307–315. DOI: https://doi.org/10.1093/ejo/22.3.307.

References:

1. Lombardo, G., Vena, F., Negri, P., Pagano, S., Barilotti, C., Paglia, L., Colombo, S., Orso, M., & Cianetti, S. (2020). Worldwide prevalence of malocclusion in the different stages of dentition: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Paediatric Dentistry, 21*(2), 115–122. https://doi.org/10.23804/ejpd.2020.21.02.05
2. Gwinnett, A. J., & Ceen, R. F. (1979). Plaque distribution on bonded brackets: A scanning microscope study. *American Journal of Orthodontics, 75*(6), 667–677. https://doi.org/10.1016/0002-9416(79)90098-8
3. van Gastel, J., Quirynen, M., Teughels, W., Coucke, W., & Carels, C. (2007). Influence of bracket design on microbial and periodontal parameters in vivo. *Journal of Clinical Periodontology, 34*(5), 423–431. https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2007.01070.x
4. Naranjo, A. A., Trivio, M. L., Jaramillo, A., Betancourth, M., & Botero, J. E. (2006). Changes in the subgingival microbiota and periodontal parameters before and 3 months after bracket placement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 130*(3), 275. 17–275. 22. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.10.022
5. Freitas, A. O. A., Marquezan, M., Nojima, M. C. G., Alviano, D. S., & Maia, L. C. (2014). The influence of orthodontic fixed appliances on the oral microbiota: A systematic review. *Dental Press Journal of Orthodontics, 19*(2), 46–55. https://doi.org/10.1590/2176-9451.19.2.046-055.oar
6. DuIlnicka, I., Jedliski, M., Padella, S., Corridore, D., & Mazur, M. (2024). Fixed appliances orthodontic therapy as a risk factor for caries development: Systematic review. *Advances in Clinical and Experimental Medicine, 33*(10), 1153–1161. https://doi.org/10.17219/acem/174444
7. Karkhanechi, M., Chow, D., Sipkin, J., Sherman, D., Boylan, R. J., Norman, R. G., Craig, R. G., & Cisneros, G. J. (2013). Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy. *The Angle Orthodontist, 83*(1), 146–151. https://doi.org/10.2319/031212-217.1

ISSN 3041-1394 (Print), ISSN 3041-1408 (Online)

8. Teixeira, H. S., Stella, M. O., Jucienne, S. R., et al. (2012). Calcium, amylase, glucose, total protein concentrations, flow rate, pH and buffering capacity of saliva in patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances. *Dental Press Journal of Orthodontics, 17*(2), 157–161. https://doi.org/10.1590/S2176-94512012000200026
9. Faltermeier, A., Brgers, R., & Rosentritt, M. (2008). Bacterial adhesion of *Streptococcus mutans* to esthetic bracket materials. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 133*(4 Suppl.), 99–103. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.03.024
10. Mei, L., Busscher, H. J., van der Mei, H. C., Chen, Y., de Vries, J., & Ren, Y. (2009). Oral bacterial adhesion forces to biomaterial surfaces constituting the bracket-adhesive-enamel junction in orthodontic treatment. *European Journal of Oral Sciences, 117*(4), 419–426. https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2009.00648.x
11. Fernandes, R. B., Polo, A. B., Rocha, V. N., Vitral, R. W. F., Apolônio, A. C. M., & Campos, M. J. S. (2022). Influence of orthodontic brackets design and surface properties on the cariogenic *Streptococcus mutans* adhesion. *The Saudi Dental Journal, 34*(4), 321–327. https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2022.03.008
12. Maizeray, R., Wagner, D., Lefebvre, F., LVybnichou, H., & Bolender, Y. (2021). Is there any difference between conventional, passive and active self-ligating brackets? A systematic review and network meta-analysis. *International Orthodontics, 19*(4), 523–538. https://doi.org/10.1016/j.ortho.2021.09.005
13. Fleming, P. S., & Johal, A. (2010). Self-ligating brackets in orthodontics: A systematic review. *The Angle Orthodontist, 80*(3), 575–584. https://doi.org/10.2319/081009-454.1
14. Parmar, N. P., Thompson, G. L., Atack, N. E., Ireland, A. J., Sherriff, M., & Haworth, J. A. (2022). Microbial colonisation associated with conventional and self-ligating brackets: A systematic review. *Journal of Orthodontics, 49*(2), 151–162. https://doi.org/10.1177/14653125211056023
15. Saloom, H. F., Mohammed-Salih, H. S., & Rasheed, S. F. (2013). The influence of different types of fixed orthodontic appliance on the growth and adherence of microorganisms: In vitro study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry, 5*(1), 36–41. https://doi.org/10.4317/jced.50988
16. Cardoso, M. A., Saraiva, P. P., Maltagliati, L. A., Rhoden, F. K., Costa, C. C. A., Normando, D., et al. (2015). Alterations in plaque accumulation and gingival inflammation promoted by treatment with self-ligating and conventional orthodontic brackets. *Dental Press Journal of Orthodontics, 20*(2), 35–41. https://doi.org/10.1590/2176-9451.20.2.035-041.oar
17. Huang, J., Yao, Y., Jiang, J., & Li, C. (2018). Effects of motivational methods on oral hygiene of orthodontic patients: A systematic review and meta-analysis. *Medicine, 97*(47), Article 131–82. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000013182
18. Di Spirito, F., Amato, A., Di Palo, M. P., Cannat, D., Giordano, F., D Ambrosio, F., & Martina, S. (2023). Periodontal management in periodontally healthy orthodontic patients with fixed appliances: An umbrella review of self-care instructions and evidence-based recommendations. *Dentistry Journal, 11*(2), Article 35. https://doi.org/10.3390/dj11020035
19. Kim, J. E., Kim, S., & Kim, D. H. (2024). Comparison of oral health status, oral hygiene management behaviours and satisfaction of patients with fixed orthodontic appliance and clear aligner: A quasi-experimental design. *International Journal of Dental Hygiene, 22*(4), 939–948. https://doi.org/10.1111/idh.12813
20. Migliorati, M., Isaia, L., Cassaro, A., Rivetti, A., Silvestrini-Biavati, F., Gastaldo, L., et al. (2015). Efficacy of professional hygiene and prophylaxis on preventing plaque increase in orthodontic patients with multibracket appliances: A systematic review. *European Journal of Orthodontics, 37*(3), 297–307. https://doi.org/10.1093/ejo/cju044
21. Oikonomou, E., Foros, P., Tagkli, A., Rahiotis, C., Eliades, T., & Koletsi, D. (2021). Impact of aligners and fixed appliances on oral health during orthodontic treatment: A systematic review and meta-analysis. *Oral Health & Preventive Dentistry, 19*, 659–672. https://doi.org/10.3290/j.ohpd.b2403661
22. Tasios, T., Papageorgiou, S. N., Papadopoulos, M. A., Tsapas, A., & Haidich, A.-B. (2019). Prevention of orthodontic enamel demineralization: A systematic review with meta-analyses. *Orthodontics & Craniofacial Research, 22*(4), 225–235. https://doi.org/10.1111/ocr.12322
23. Derks, A., Katsaros, C., Frencken, J. E., van Hof, M. A., & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2004). Caries-inhibiting effect of preventive measures during orthodontic treatment with fixed appliances: A systematic review. *Caries Research, 38*(5), 413–420. https://doi.org/10.1159/000079621
24. Chapman, J. A., Roberts, W. E., Eckert, G. J., Kula, K. S., & Gonzlez-Cabezas, C. (2010). Risk factors for incidence and severity of white spot lesions during treatment with fixed orthodontic appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 138*(2), 188–194. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.10.019
25. Romaniuk, R. Ya., & Hevkaliuk, N. O. (2026). *Sposib pryhotuvannia replik z poverkhni emali zuba v klinichnii praktytsi dlia doslidzhennia v skanuiuchomu elektronnomu mikroskopi* [Method of preparing replicas from the tooth enamel surface in

clinical practice for examination by scanning electron microscopy] (Copyright registration certificate No. 141444). *Biuleten Avtorske pravo i sumizhni prava*, (97), 77. [In Ukrainian].
26. Janiszewska-Olszowska, J., Szatkiewicz, T., Tomkowski, R., Tandecka, K., & Grocholewicz, K. (2014). Effect of orthodontic debonding and adhesive removal on the enamel: Current knowledge and future perspectives: A systematic review. *Medical Science Monitor, 20*, 199–2001. https://doi.org/10.12659/MSM.890912
27. Sergl, H. G., Klages, U., & Zentner, A. (2000). Functional and social discomfort during orthodontic treatment: Effects on compliance and prediction of patients adaptation by personality variables. *European Journal of Orthodontics, 22*(3), 307–315. https://doi.org/10.1093/ejo/22.3.307

Конфлікт інтересів: автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.
Дата першого надходження статті до видання: 28.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 05.11.2026

CC BY