

**Брехлічук Павло Павлович,**

доктор медичних наук, доцент,

доцент кафедри хірургічної стоматології та клінічних дисциплін  
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ORCID ID: 0000-0001-6754-5142

м. Ужгород, Україна

**Бокоч Анатолій Васильович,**

кандидат медичних наук, доцент,

доцент кафедри ортопедичної  
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ORCID ID: 0000-0001-8969-8043

м. Ужгород, Україна

**Гурандо Вячеслав Радомирович,**

кандидат медичних наук, доцент,

доцент кафедри медико-біологічних дисциплін  
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ORCID ID: 0000-0001-6303-3799

м. Ужгород, Україна

**Мартиць Юрій Миколайович,**

кандидат медичних наук,

доцент кафедри дитячої стоматології,  
Тернопільський національний медичний університет

імені І.Я. Горбачевського

ORCID ID: 0000-0002-9222-5017

м. Тернопіль, Україна

**Мартиць Остап Юрійович,**

здобувач вищої освіти стоматологічного факультету,

Тернопільський національний медичний університет  
імені І.Я. Горбачевського

ORCID ID: 0009-0002-6015-8435

м. Тернопіль, Україна

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОРТОДОНТИЧНОГО ЛІКУВАННЯ ТА ЇХНЬОГО ВПЛИВУ НА ОРГАНИ І ТКАНИНИ ПОРОЖНИНИ РОТА. (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

**Вступ.** Сучасна ортодонція пропонує пацієнтам широкий спектр конструкцій – від незнімних багатобрекетних та самолігуючих систем до прозорих елайнерів, кожна з яких має власний профіль ефективності й впливу на тканини порожнини рота, що зумовлює потребу в порівняльному аналізі наявних даних.

**Мета дослідження.** Аналітичний огляд сучасних літературних джерел щодо порівняння клінічної ефективності основних видів ортодонтичного лікування та систематизації даних про їхній вплив на пародонт, мікробіом порожнини рота, тверді тканини зуба, слизову оболонку та системні показники організму.

**Матеріали та методи.** Проведено наративний огляд публікацій із баз PubMed, Scopus, Web of Science та Cochrane Library останніх років, присвячених порівнянню ефективності ортодонтичних конструкцій та їх впливу на органи й тканини порожнини рота.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Прозорі елайнери демонструють переваги щодо якості життя та вираженості болю на початкових етапах лікування, а також кращі показники гігієни, тоді як незнімні апарати залишаються прогнозованими для

© Брехлічук П. П., Бокоч А. В., Гурандо В. Р., Мартиць Ю. М., Мартиць О. Ю., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

складних переміщень зубів. Фіксовані конструкції достовірно асоціюються з накопиченням біоплівки, зсувом мікробіоценозу у бік карієсогенних і пародонтопатогенних видів, підвищенням карієсогенного ризику та транзитними системними гематологічними й імунологічними змінами. Встановлено роль матеріалознавчих характеристик конструкцій (керамічних, металевих, самолігуючих) у формуванні ризику вивільнення металевих іонів і бактеріальної адгезії.

**Висновки.** Універсального «оптимального» виду ортодонтичного лікування не існує: вибір конструкції має ґрунтуватися на зіставленні складності клінічного випадку з ризиком негативного впливу на тканини порожнини рота та очікуваннями пацієнта.

**Ключові слова:** ортодонтичне лікування, незнімні брекет-системи, самолігуючі брекети, прозорі елайнери, пародонт, мікробіом порожнини рота, карієс, якість життя, побічні ефекти.

*Brekhlichuk Pavlo Pavlovych, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Surgical Dentistry and Clinical Disciplines, Uzhhorod National University; ORCID ID: 0000-0001-6754-5142, Uzhhorod, Ukraine*

*Bokoch Anatolii Vasylovych, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Orthopedic Dentistry, Uzhhorod National University; ORCID ID: 0000-0001-8969-8043, Uzhhorod, Ukraine*

*Gurando Vyacheslav Radomyrovych, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Medical and Biological Disciplines, Uzhhorod National University; ORCID ID: 0000-0001-6303-3799, SCOPUS ID: 57193122263, Uzhhorod, Ukraine*

*Martyts Yuriy Mykolayovych, Candidate of Medical Sciences, Assistant Professor at the Department of Pediatric Dentistry, I. Horbachevsky Ternopil National Medical University; ORCID ID: 0000-0002-9222-5017, Ternopil, Ukraine*

*Martyts Ostop Yuriyovych, Higher Education Applicant at the Faculty of Dentistry, I. Horbachevsky Ternopil National Medical University; ORCID ID: 0009-0002-6015-8435, Ternopil, Ukraine*

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF MODERN ORTHODONTIC TREATMENT METHODS AND THEIR IMPACT ON THE ORGANS AND TISSUES OF THE ORAL CAVITY (LITERATURE REVIEW)

**Introduction.** Modern orthodontics offers patients a wide range of appliances – from fixed multibracket and self-ligating systems to clear aligners – each with its own profile of effectiveness and impact on oral tissues, which determines the need for a comparative analysis of the available data.

**Objective of the research.** To critically review the current literature on the comparative clinical effectiveness of different orthodontic treatment modalities and to systematize the available evidence regarding their impact on the periodontium, oral microbiome, hard dental tissues, oral mucosa, and systemic health.

**Materials and methods.** A narrative review of publications from PubMed, Scopus, Web of Science, and the Cochrane Library from recent years, addressing the comparative effectiveness of orthodontic appliances and their impact on oral organs and tissues, was conducted.

**Results and discussions.** Clear aligners demonstrate advantages in quality of life and pain intensity at the initial stages of treatment, as well as better hygiene indices, whereas fixed appliances remain more predictable for complex tooth movements. Fixed appliances are reliably associated with biofilm accumulation, a shift of the microbiocenosis toward cariogenic and periodontopathogenic species, increased caries risk, and transient systemic hematological and immunological changes. The role of the material characteristics of appliances (ceramic, metal, self-ligating) in shaping the risk of metal-ion release and bacterial adhesion was established.

**Conclusions.** There is no universally «optimal» type of orthodontic treatment: the choice of appliance should be based on matching the case's clinical complexity to the risk of impact on oral tissues and the patient's expectations.

**Key words:** orthodontic treatment, fixed bracket systems, self-ligating brackets, clear aligners, periodontium, oral microbiome, dental caries, quality of life, adverse effects.

**Вступ.** Ортодонтичне лікування зубощелепних аномалій та деформацій прикусу залишається одним із найбільш затребуваних напрямів стоматологічної допомоги як у дитячому, так і у дорослому контингенту пацієнтів [1]. Систематичні огляди Cochrane щодо лікування скупченості зубів у дітей засвідчують клінічну ефективність незнімних апаратів у корекції аномалій положення зубів, водночас підкреслюючи потребу подальшого накопичення якісної доказової бази щодо порівняльної ефективності різних технік [1]. Фіксовані ортодонтичні системи змішаного прикусу (зокрема техніка 2×4) демонструють доведену клінічну ефективність на ранніх етапах лікування, однак їх застосування потребує чіткого дотримання показань [2].

Паралельно зі зростанням популярності естетичних методів лікування прозорі елайнери перетворилися на повноцінну альтернативу традиційним брекет-систе-

мам, що підтверджується формуванням експертного консенсусу щодо клінічних стратегій їх застосування [3] та системним аналізом біомеханічних принципів переміщення зубів за допомогою кап [4]. Водночас систематичні огляди рецидивів після ортодонтичного лікування вказують на необхідність зваженого порівняння стабільності результату між елайнерами та класичними незнімними конструкціями [5], а узагальнюючі огляди систематичних оглядів засвідчують, що клінічна ефективність елайнерів залежить від складності випадку і в частині клінічних сценаріїв поступається фіксованим апаратам [6]. Особливої уваги заслуговують самолігуючі брекет-системи, для яких системні огляди клінічних досліджень демонструють специфічний профіль впливу на пародонтальне здоров'я порівняно зі звичайними лігатурними системами [7].

Попри значний обсяг публікацій щодо клінічної ефективності окремих видів ортодонтичних конструк-

цій, порівняльні дані щодо їх сукупного негативного впливу на органи і тканини порожнини рота – пародонт, тверді тканини зуба, мікробіом, слизову оболонку та системні показники – залишаються фрагментарними та розпорошеними по вузькоспеціалізованих джерелах. Це обумовлює необхідність систематизованого порівняльного аналізу наявних літературних даних із метою формування цілісного уявлення про співвідношення ефективності та безпеки різних видів ортодонтичного лікування.

**Мета дослідження.** Провести аналітичний огляд сучасних літературних джерел щодо порівняння клінічної ефективності основних видів ортодонтичного лікування та систематизувати дані про їхній вплив на пародонт, мікробіом порожнини рота, тверді тканини зуба, слизову оболонку та системні показники організму. Виконати порівняльний аналіз наукової літератури щодо клінічної ефективності основних видів сучасного ортодонтичного лікування (незнімні багатобрекетні системи, самолігуючі брекет-системи, прозорі елайнери) та систематизувати наявні дані щодо їх негативного впливу на тканини пародонту, мікробіом порожнини рота, карієсогенний ризик, тверді тканини зуба, слизову оболонку та системні показники організму пацієнта.

**Матеріали та методи.** Дослідження мало характер наративного аналітичного огляду літератури і базувалося на системному узагальненні сучасних публікацій, індексованих у міжнародних бібліографічних базах даних PubMed, Scopus, Web of Science та Cochrane Library. До аналізу включали систематичні огляди, мета-аналізи, рандомізовані контрольовані дослідження, проспективні когортні та порівняльні дослідження, опубліковані переважно упродовж останніх п'яти років, присвячені: 1) порівнянню клінічної ефективності, тривалості лікування та стабільності результату різних видів ортодонтичних конструкцій; 2) впливу цих конструкцій на тканини пародонту та мікробіом порожнини рота; 3) карієсогенному ризику, асоційованому з ортодонтичним лікуванням; 4) больовому синдрому та якості життя пацієнтів; 5) системним біологічним ефектам ортодонтичних сил; 6) матеріалознавчим аспектам безпеки ортодонтичних конструкцій.

На основі проведеного аналізу було здійснено систематизацію отриманих даних за тематичними напрямками із подальшим порівнянням профілів ефективності та побічних ефектів досліджуваних видів ортодонтичного лікування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Проведений аналіз літературних джерел дозволив систематизувати наявні дані за кількома тематичними напрямками: порівняльна клінічна ефективність основних видів ортодонтичних конструкцій; їх вплив на тканини пародонту; вплив на мікробіом порожнини рота та карієсогенний ризик; больовий синдром і якість життя пацієнтів; системні біологічні ефекти; матеріалознавчі аспекти безпеки конструкцій; резорбція коренів зубів як специфічне ускладнення; а також перспективи використання цифрових технологій для оптимізації ортодонтичного лікування.

**Порівняльна клінічна ефективність основних видів ортодонтичного лікування.** Узагальнюючий аналіз систематичних оглядів, присвячених зіставленню клінічної ефективності прозорих елайнерів та фіксованих апаратів, засвідчив, що терапія елайнерами є високоефективною переважно при корекції легких і помірних форм зубощелепних аномалій, тоді як за необхідності виконання складних видів переміщення зубів (ротація круглих зубів, значне екструзійне переміщення, корекція вираженого скупчення) точність досягнення запланованого результату за допомогою елайнерів залишається нижчою порівняно з незнімними багатобрекетними системами [6]. Це узгоджується з даними щодо біомеханіки прозорих кап, які функціонують за принципом дискретного, поетапного докладання сили через послідовну зміну кап, що обумовлює специфічні обмеження щодо контролю торку та вертикального переміщення коренів зубів порівняно з безперервним прикладенням сили за допомогою дуги у брекет-системах [4].

Водночас формування експертного консенсусу щодо клінічних стратегій застосування прозорих елайнерів свідчить про розширення показань до їх використання, зокрема за рахунок удосконалення алгоритмів цифрового планування переміщення зубів, оптимізації дизайну атачментів та послідовностей етапів лікування [3]. Дані щодо рецидиву після завершення активного лікування залишаються суперечливими: систематичний огляд, що зіставляв частоту та вираженість рецидиву після лікування елайнерами порівняно з традиційними незнімними апаратами, не встановив однозначної переваги жодного з методів, підкреслюючи вирішальну роль дотримання ретенційного протоколу незалежно від обраного виду активного лікування [5].

Для дітей із змішаним прикусом фіксована ортодонтична техніка 2×4 підтвердила клінічну ефективність у корекції ранніх аномалій положення різців за умови чіткого дотримання показань до її застосування, що визначає доцільність раннього втручання в окремих клінічних ситуаціях [2]. Що стосується самолігуючих брекет-систем, систематичний огляд клінічних досліджень пародонтального здоров'я засвідчив, що конструктивні особливості самолігуючих замків (зокрема відсутність лігатурної фіксації дуги) можуть асоціюватися з дещо кращими показниками контролю зубного нальоту на окремих етапах лікування порівняно зі звичайними лігатурними системами, однак ці відмінності не завжди є клінічно значущими і потребують подальшого підтвердження в якісних порівняльних дослідженнях [7].

**Вплив ортодонтичного лікування на тканини пародонту.** Порівняльний аналіз впливу прозорих елайнерів та фіксованих брекет-систем на пародонтальний статус засвідчив різноспрямовані ефекти залежно від тривалості спостереження: у середньостроковому періоді елайнери забезпечують певні переваги щодо контролю зубного нальоту, а у довгостроковому спостереженні асоціюються з меншою глибиною пародонтальних кишень, нижчою кровоточивістю ясен та уповільненою прогресією рецесії

ясен порівняно з фіксованими апаратами [8]. Водночас автори наголошують, що наявна доказова база є недостатньою для остаточного висновку про безумовну перевагу елайнерів у підтриманні пародонтального здоров'я, що потребує проведення додаткових високоякісних досліджень [8].

Встановлення незмінних ортодонтичних апаратів достовірно змінює характер розподілу зубної біоплівки: клінічні дослідження засвідчили статистично значуще підвищення індексів зубного нальоту (зокрема апроксимального індексу нальоту та індексу брекетів) у пацієнтів ортодонтичної групи порівняно з контрольною, з переважним накопиченням наддесневого нальоту на вестибулярних поверхнях зубів [9]. Це підтверджується даними щодо міжекспертної надійності індексів оцінки зубного нальоту у пацієнтів із фіксованими апаратами, які засвідчили, що традиційний загальностоматологічний індекс TQH є менш придатним для цієї категорії пацієнтів порівняно зі спеціалізованими ортодонтичними індексами (індекс Аттіна, модифікований індекс для брекетів mBB), що підкреслює потребу стандартизації підходів до моніторингу гігієнічного стану під час ортодонтичного лікування [10].

Порівняння мікробної колонізації при використанні звичайних лігатурних та самолігуючих брекет-систем виявило особливості формування біоплівки залежно від конструктивних характеристик замків, що може мати клінічне значення для вибору системи у пацієнтів із підвищеним ризиком пародонтальних ускладнень [11], а систематичний огляд клінічних досліджень пародонтального здоров'я при використанні самолігуючих брекетів підтвердив загальну тенденцію до порівнянних, хоча й дещо варіабельних результатів контролю запалення тканин пародонту залежно від типу замка [7].

**Вплив на мікробіом порожнини рота та карієсогенний ризик.** Систематизація даних щодо змін мікробіоти порожнини рота під час ортодонтичного лікування засвідчує, що фіксовані апарати створюють додаткові зони ретенції нальоту, змінюють мікробний склад біоплівки та ускладнюють підтримання належного рівня гігієни, що потенційно підвищує ризик розвитку карієсу, гінгівіту та демінералізації емалі [12]. Порівняльний аналіз слинних мікробіомів пацієнтів із різними видами ортодонтичних апаратів виявив, що глибина пародонтальних кишень достовірно зростає лише в групі фіксованих апаратів, тоді як у пацієнтів із прозорими капами залишається стабільною; при цьому у групі фіксованих апаратів реєструвалися вищі значення індексів мікробного різноманіття (Shannon, Pielou), які позитивно корелювали з показниками запалення ясен, а також підвищена відносна частка низки бактеріальних родів і видів (*Selenomonas*, *Prevotella*, *Dialister invisus* та інші), асоційованих із пародонтальним запаленням [13].

Порівняльне дослідження впливу прозорих елайнерів та традиційних знімних апаратів на мікробіом порожнини рота у дітей зі змінним прикусом продемонструвало статистично значуще зростання рівня *Lactobacillus* у групі знімних апаратів, тоді як у групі

елайнерів подібна тенденція не досягала статистичної значущості, що побічно свідчить про менш виражений карієсогенний потенціал елайнерів на цьому етапі лікування [14]. Водночас дослідження слинної мікробіоти у підлітків із нормальною та підвищеною масою тіла перед початком лікування фіксованими апаратами не виявило статистично значущих відмінностей у різноманітності бактеріальних спільнот між групами, що вказує на відносну стабільність вихідного мікробіологічного статусу незалежно від нутритивного статусу пацієнта [15].

Огляд впливу прозорих елайнерів на здоров'я порожнини рота та мікробіом підкреслює, що, попри нижчий, порівняно з фіксованими апаратами, рівень мікробної перебудови, елайнери не позбавлені потенціалу спричиняти локальні зміни мікробіоценозу, зокрема за умов недостатньої гігієни або тривалого безперервного носіння, а мікроскопічні дефекти поверхні капп (борозни, мікротріщини) створюють умови для бактеріальної адгезії [16]. Проспективне клінічне дослідження динаміки мікробіоти порожнини рота протягом шести місяців лікування фіксованими апаратами підтвердило зростання мікробного різноманіття та зсув структури мікрофлори у бік домінування *Firmicutes* і *Spirochaetota*, попри покращення гігієнічних звичок пацієнтів [17], що узгоджується із результатами систематичного огляду щодо підвищеного ризику розвитку карієсу на тлі лікування фіксованими апаратами, особливо у дорослих пацієнтів [18], та даними про підвищену поширеність умовно-патогенного виду *Selenomonas* похія серед ортодонтичних пацієнтів порівняно з неортодонтичною контрольною групою [19].

Проспективне шестимісячне дослідження впливу фіксованих апаратів на мікробні зміни та ризик карієсу у дітей підтвердило достовірне зростання рівнів *Streptococcus mutans* та *Lactobacillus* spp. у основній групі порівняно з контрольною навіть після корекції результатів за віком, статтю та рН слини [20], що обґрунтовує доцільність застосування профілактичних заходів. Зокрема, рандомізоване контрольоване дослідження професійного місцевого застосування фторвмісних засобів у пацієнтів із фіксованими апаратами продемонструвало підвищення рН слини, зниження індексу зубного нальоту та суттєве зменшення частоти виявлення *S. mutans* і *Selenomonas sputigena* після курсу фторпрофілактики [21]. Пілотне клінічне дослідження впливу додаткового вживання нітрат-вмісного буякового соку на мікробіоту різних оральних ніш у пацієнтів із фіксованими апаратами показало, що найбільш чутливою до подібних дієтичних втручань є субгінгівальна мікробна спільнота, що відкриває перспективи для дієтичної модуляції карієсогенного та пародонтопатогенного потенціалу мікробіоти під час лікування [22]. Загалом, накопичені дані про роль зубної біоплівки як ключового етіологічного чинника гінгівіту, пародонтиту та карієсу під час ортодонтичного лікування підкреслюють необхідність посиленого гігієнічного супроводу пацієнтів упродовж усього періоду носіння незмінних конструкцій [23].

**Больовий синдром і якість життя пацієнтів за різних видів ортодонтичного лікування.** Аналітичне узагальнення даних щодо інтенсивності болю та впливу на якість життя, пов'язану зі здоров'ям порожнини рота, засвідчило, що прозорі елайнери забезпечують статистично значуще нижчий рівень болю лише в перші дні після початку лікування (переважно третя–четверта доба), тоді як у подальші терміни відмінності між елайнерами та фіксованими апаратами нівелюються [24]. Рандомізоване контрольоване дослідження впливу ортодонтичного лікування без видалення зубів на якість життя підтвердило кращі показники у групі елайнерів на ранніх етапах терапії за відсутності статистично значущих відмінностей після завершення активного лікування [25], що узгоджується з результатами систематичного огляду, який зіставляв якість життя, пов'язану зі здоров'ям порожнини рота, упродовж усього періоду лікування елайнерами порівняно зі звичайними металевими незнімними апаратами [26].

Порівняльне дослідження якості життя дорослих пацієнтів, що проходять лікування керамічними брекетами порівняно з елайнерами, встановило, що елайнери демонструють сприятливіший профіль переносимості, зокрема нижчий рівень дискомфорту в період адаптації та менший вплив на мовлення, тоді як за узагальненими показниками клінічної ефективності лікування достовірних відмінностей між методами не виявлено, що підтверджує еквівалентність кінцевих результатів за належного відбору клінічних випадків [27]. Подібні висновки щодо вищого рівня задоволеності пацієнтів прозорими елайнерами порівняно з традиційними брекетами наведено і в окремому порівняльному дослідженні [28], а проспективне когортне дослідження якості життя, пов'язаної зі здоров'ям порожнини рота, протягом лікування підтвердило перевагу елайнерів на більшості часових точок спостереження [29].

Тривале пілотне дослідження впливу обраної ортодонтичної системи (брекети проти елайнерів) у дорослих пацієнтів на якість життя та рівень тривожності засвідчило, що тип обраної конструкції може відігравати певну роль у психоемоційному сприйнятті лікування, хоча ці відмінності потребують уточнення на більших вибірках [30]. Обсерваційне порівняльне дослідження досвіду пацієнтів щодо носіння різних видів ортодонтичних апаратів підтвердило, що вибір конструкції впливає на психосоціальні параметри якості життя, однак ці зміни не є статичними і можуть модифікуватися в процесі лікування [31], а скопінг-огляд досвіду пацієнтів із прозорими елайнерами узагальнив дані щодо впливу на біль, мовлення, харчування, тривожність та якість сну на початкових етапах лікування, підкресливши потребу подальших довготривалих досліджень з використанням валідованих якісних методів оцінки [32].

Окремим напрямом досліджень больового синдрому є вивчення його молекулярних механізмів та методів немедикаментозної корекції: встановлено роль сигнальної системи інтерлейкіну-6 у регуляції ортодонтичного переміщення зубів та асоційованого больового синдрому [33], а рандомізоване контрольо-

ване дослідження ефективності музики з альфа-бінауральними ритмами щодо зменшення післяактиваційного болю продемонструвало помірний, статистично підтверджений анальгетичний ефект переважно у другій половині першого тижня лікування [34], що відкриває перспективи для немедикаментозних методів супроводу пацієнтів незалежно від обраного виду апаратури.

Соціально-психологічні аспекти вибору виду ортодонтичного лікування також широко представлені в літературі: опитування молодих дорослих у Центральній Європі та Південній Америці засвідчило високий попит на лікування прозорими капами за недостатнього рівня поінформованості населення про особливості цього методу [35], а пілотне перехресне дослідження психосоціальних детермінант задоволеності ортодонтичним лікуванням підкреслило значення очікувань пацієнта та якості комунікації з лікарем [36]. Аналіз мотивації, сприйняття та поведінки дорослих ортодонтичних пацієнтів [37], а також вивчення впливу післядипломної ортодонтичної освіти лікарів на вибір виду лікування [38] додатково підтверджують багатофакторний характер прийняття рішення щодо вибору ортодонтичної конструкції. Перехресне опитування щодо обізнаності, ставлення та задоволеності ортодонтичним лікуванням [39], а також дослідження уявлень пацієнтів і батьків про «хороше» ортодонтичне лікування [40] завершують комплексну картину немедичних чинників, які визначають задоволеність результатом лікування незалежно від його клінічної ефективності.

**Системні біологічні ефекти ортодонтичного лікування.** Окрім місцевого впливу на тканини порожнини рота, ортодонтичні сили здатні спричиняти транзиторні системні зміни. Проспективне когортне дослідження впливу фіксованих ортодонтичних апаратів на гематологічні показники та рівень високочутливого С-реактивного білка встановило, що вже через п'ять днів після фіксації апарата достовірно зменшується кількість лейкоцитів, а через два тижні реєструється помірне зниження рівня гемоглобіну за стабільної концентрації С-реактивного білка, що свідчить про відсутність вираженої системної запальної реакції у відповідь на встановлення незнімної конструкції [41]. Ці дані узгоджуються з концептуальним переосмисленням впливу ортодонтичного переміщення зубів на системний імунітет, згідно з яким локальні механічні навантаження здатні модулювати системні імунологічні показники [42], а критичний огляд імунних змін, індукованих ортодонтичними силами, систематизував механізми залучення прозапальних цитокінів та клітин імунної системи до процесу ремоделювання альвеолярної кістки [43].

Молекулярною основою цих процесів є цитокін-опосередкована регуляція остеокластогенезу та резорбції альвеолярної кістки: цитокіни виступають ключовими сигнальними молекулами, що забезпечують міжклітинну комунікацію між тканинами періодонта та кістки під час ортодонтичного переміщення зубів [44], а дослідження впливу незнімних апаратів на немікробні параметри слини засвідчило зміни фізико-

хімічного складу ротової рідини, що супроводжують механічне навантаження на зубощелепну систему [45]. Додатково варто враховувати загальний психофізіологічний контекст стоматологічного лікування: показано зв'язок між рівнем альфа-амілази слини, оксиду азоту, болем та стресом, індукованим тривогою, у пацієнтів під час стоматологічних втручань, що може накладатися на специфічні ефекти ортодонтичного навантаження [46].

**Матеріалознавчі аспекти безпеки ортодонтичних конструкцій.** Хімічна стабільність та біосумісність матеріалів, з яких виготовляються ортодонтичні конструкції, є самостійними чинниками ризику ускладнень. Дослідження впливу кислотності середовища на вивільнення іонів нікелю з фіксованих ортодонтичних апаратів встановило, що найбільше вивільнення металу спостерігається в кислому середовищі, тоді як за нейтрального pH вивільнення є мінімальним; попри те, що зареєстровані концентрації загалом залишаються нижчими за поріг токсичності, авторами підкреслюється необхідність урахування ризику гіперчутливості у пацієнтів з алергією на метали [47].

Порівняльний аналіз клінічної ефективності керамічних брекетів, зафіксованих за технологією «без залишків адгезиву», та звичайних адгезивних керамічних систем засвідчив статистично значуще скорочення часу фіксації за відсутності суттєвих відмінностей у частоті від'єднання брекетів, демінералізації емалі та стані тканин пародонту; водночас рівень больових відчуттів під час зняття брекетів був вищим у групі звичайних адгезивних систем [48]. Дослідження стійкості адгезивного з'єднання брекетів за умов циклічних коливань кислотності підтвердило переваги технології попереднього нанесення адгезиву щодо зсувної міцності з'єднання та довговічності фіксації [49].

Профілактичні матеріалознавчі стратегії включають розробку наночастинок для запобігання утворенню біоплівки на ортодонтичних брекетах, клінічна апробація яких підтвердила потенціал зниження бактеріальної колонізації поверхні конструкцій [50], а систематичний огляд застосування антимікробних срібних покриттів на дугах, брекетах та мікроімплантатах узагальнив дані щодо їх ефективності в редукції мікробного навантаження на поверхню незнімних апаратів [51]. Дослідження варіабельності адгезії *Streptococcus mutans* та *Porphyromonas gingivalis* до різних матеріалів брекетів (керамічних, металевих, пластикових) у мікрокосмних біоплівках, сформованих зі слини, встановило, що монокристалічні керамічні брекети характеризуються найвищим рівнем адгезії обох патогенів, що потенційно пов'язано з підвищеним ризиком гінгівіту та демінералізації емалі при застосуванні керамічних систем і потребує посиленого контролю гігієни [52]. Узагальнюючий огляд еволюції конструкцій та матеріалів ортодонтичних брекетів – від класичних металевих замків до сучасних керамічних та полімерних систем – підкреслює, що вибір матеріалу визначається комплексом факторів, включно з очікуваною реакцією матеріалу в умовах тривалої експозиції в ротовій порожнині [53].

**Резорбція коренів зубів як специфічне ускладнення ортодонтичного лікування.** Зовнішня апікальна резорбція кореня зуба залишається одним із найбільш небажаних ускладнень ортодонтичного лікування незнімними апаратами. Систематичний огляд та мета-аналіз факторів резорбції коренів встановив, що ступінь резорбції зазвичай не демонструє статистично значущих відмінностей залежно від застосованої техніки чи типу апаратів, що може вказувати на домінування біологічних механізмів резорбції над суто механічними параметрами лікування за умови їх перебування в межах клінічно прийнятних значень; водночас дані щодо впливу перенесеної раніше травми зубів на ризик резорбції залишаються обмеженими та суперечливими, а ендодонтично ліковані зуби, за наявними даними, характеризуються менш вираженою резорбцією порівняно з вітальними [54]. Автори систематичних оглядів підкреслюють, що ці висновки слід розглядати з обережністю через низьку загальну якість первинних досліджень та значну гетерогенність результатів, що зумовлює потребу у високоякісних клінічних випробуваннях для формування переконливоїшої доказової бази.

**Перспективи оптимізації ортодонтичного лікування за допомогою цифрових технологій.** Стрімкий розвиток цифрової стоматології та алгоритмів штучного інтелекту відкриває нові можливості для підвищення точності діагностики, планування та контролю ортодонтичного лікування, зокрема для індивідуалізації вибору виду конструкції з урахуванням прогнозованого профілю ефективності та ризику ускладнень для конкретного пацієнта [55]. Концептуальні напрями розвитку ортодонтії майбутнього, що ґрунтуються на клітинних і молекулярних механізмах переміщення зубів, стерильного запалення та механотрансдукції в періодонтальній тканині, окреслюють перспективи для розробки таргетних терапевтичних стратегій, здатних одночасно оптимізувати швидкість переміщення зубів та мінімізувати негативний вплив лікування на оточуючі тканини, включно з ризиком резорбції кореня [56]. Інтеграція подібних технологічних рішень із результатами систематизованого порівняльного аналізу ефективності та безпеки різних видів ортодонтичних конструкцій, представленого в цій роботі, створює методологічне підґрунтя для формування індивідуалізованих клінічних протоколів вибору виду ортодонтичного лікування.

**Висновки:** 1. Порівняльний аналіз клінічної ефективності основних видів ортодонтичного лікування засвідчив, що прозорі елайнери є високоефективними при корекції легких і помірних зубощелепних аномалій та демонструють переваги щодо якості життя й больового синдрому на початкових етапах лікування, тоді як незнімні багатобрекетні системи залишаються більш прогнозованими для складних видів переміщення зубів; частота рецидиву визначається насамперед дотриманням ретенційного протоколу, а не типом обраної активної апаратури.

2. Незнімні ортодонтичні апарати достовірно асоціюються з накопиченням зубної біоплівки, зсувом мікробіоценозу порожнини рота у бік карієогенних

і пародонтопатогенних видів, підвищенням карієсогенного ризику та погіршенням пародонтальних індексів, тоді як для прозорих елайнерів описано менш виражені, проте не відсутні мікробіологічні та пародонтальні зміни, що потребують аналогічного гігієнічного супроводу.

3. Ортодонтичне навантаження здатне спричиняти транзиторні системні гематологічні та імунологічні зміни, молекулярною основою яких є цитокін-опосередкована регуляція остеокластогенезу; ці зміни, за наявними даними, не супроводжуються ознаками вираженої системної запальної реакції за умови фізіологічного перебігу лікування.

4. Матеріалознавчі характеристики ортодонтичних конструкцій (тип сплаву, керамічні чи полімерні компоненти, антимікробні покриття, технологія фікса-

ції) суттєво впливають на профіль ризику ускладнень, зокрема на вивільнення металевих іонів, бактеріальну адгезію та стабільність адгезивного з'єднання, що обґрунтовує доцільність подальшого вдосконалення матеріалів для мінімізації негативного впливу на тканини порожнини рота.

5. Відсутність універсально «оптимального» виду ортодонтичного лікування визначає необхідність індивідуалізованого підходу до вибору конструкції, що ґрунтується на зіставленні клінічної складності випадку з оцінкою ризику негативного впливу на тканини пародонту, мікробіом та тверді тканини зуба, а також на очікуваннях пацієнта щодо естетики, комфорту й тривалості лікування, що й визначає перспективні напрями подальших порівняльних клінічних досліджень.

## REFERENCES

1. Turner S, Harrison JE, Sharif FN, Owens D, Millett DT. Orthodontic treatment for crowded teeth in children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2021;12(12):CD003453. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003453.pub2>
2. Dipalma G, Marinelli G, Casamassima L, Nardelli P, Ciccarese D, Sena P, Inchingolo F, Crincoli V, Palermo A, Bordea IR, Carbonara A, Inchingolo AM, Inchingolo AD. Effectiveness and Clinical Indications of 2 × 4 Fixed Orthodontic Therapy in Regard to Mixed Dentition: A Systematic Review. *Children (Basel)*. 2025;12(7):897. DOI: <https://doi.org/10.3390/children12070897>
3. Wang Y, Long H, Zhao Z, Bai D, Han X, Wang J, Fang B, Jin Z, He H, Bai Y, Li W, Hu M, Zhou Y, Ai H, Liu Y, Cao Y, Lin J, Li H, Guo J, Lai W. Expert consensus on the clinical strategies for orthodontic treatment with clear aligners. *International Journal of Oral Science*. 2025;17(1):19. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41368-025-00350-2>
4. Upadhyay M, Arqub SA. Biomechanics of clear aligners: hidden truths & first principles. *Journal of the World Federation of Orthodontists*. 2022;11(1):12–21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2021.11.002>
5. Regalado-Bazán CF, Espichan-Salazar AC, Arriola-Guillén LE. Comparison of relapse of orthodontic treatment following aligner versus conventional fixed appliance treatment. A systematic review. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. 2024;16(5):e586–e594. DOI: <https://doi.org/10.4317/jced.61520>
6. Yassir YA, Nabbat SA, McIntyre GT, Bearn DR. Clinical effectiveness of clear aligner treatment compared to fixed appliance treatment: an overview of systematic reviews. *Clinical Oral Investigations*. 2022;26(3):2353–2370. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04361-1>
7. Mester A, Onisor F, Mesaros AS. Periodontal Health in Patients with Self-Ligating Brackets: A Systematic Review of Clinical Studies. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11(9):2570. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm11092570>
8. ElNaghy R, Al-Qawasmi R, Hasanin M. Does orthodontic treatment using clear aligners and fixed appliances affect periodontal status differently? *Evidence-Based Dentistry*. 2023;24(2):73–74. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41432-023-00890-8>
9. Kozak U, Lasota A, Chałas R. Changes in Distribution of Dental Biofilm after Insertion of Fixed Orthodontic Appliances. *Journal of Clinical Medicine*. 2021;10(23):5638. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm10235638>
10. Erbe C, Temming T, Ohlendorf D, Schmidtman I, Ferrari-Peron P, Mundethu A, Wehrbein H. Investigation of the inter-rater reliability of three different plaque indices used in patients with fixed orthodontic appliances. *PLoS One*. 2025;20(5):e0322528. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322528>
11. Parmar NP, Thompson GL, Attack NE, Ireland AJ, Sherriff M, Haworth JA. Microbial colonisation associated with conventional and self-ligating brackets: a systematic review. *Journal of Orthodontics*. 2022;49(2):151–162. DOI: <https://doi.org/10.1177/14653125211056023>
12. Santonocito S, Polizzi A. Oral Microbiota Changes during Orthodontic Treatment. *Frontiers in Bioscience (Elite Edition)*. 2022;14(3):19. DOI: <https://doi.org/10.31083/j.fbe1403019>
13. Wang M, Chen J, Wang Z, Wang Y, Zhang Y, Feng Q, Wei F. Salivary microbiomes vary among orthodontic appliances and associate with clinical periodontal parameters. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2024;27(1):174–184. DOI: <https://doi.org/10.1111/ocr.12733>
14. Chen W, Chen J, Bai D, Wang P, Shu R. Effects of clear aligners and traditional removable appliances on oral microbiome in mixed dentition: a comparative study. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):1276. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05063-2>
15. Sharara SH, Cleaver LM, Saloom H, Carpenter GH, Cobourne MT. Salivary bacterial community profile in normal-weight and obese adolescent patients prior to orthodontic treatment with fixed appliances. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2022;25(4):569–575. DOI: <https://doi.org/10.1111/ocr.12571>
16. Rouzi M, Zhang X, Jiang Q, Long H, Lai W, Li X. Impact of Clear Aligners on Oral Health and Oral Microbiome During Orthodontic Treatment. *International Dental Journal*. 2023;73(5):603–611. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.identj.2023.03.012>
17. Zhao M, Yu C, Su C, Wang H, Wang X, Weir MD, Xu HHK, Liu M, Bai Y, Zhang N. Dynamic effects of fixed orthodontic treatment on oral health and oral microbiota: a prospective study. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):1537. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05356-6>

18. Duś-Ilnicka I, Jedliński 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;33(10):1153–1161. DOI: <https://doi.org/10.17219/acem/174444>
19. Hodges K, Famuliner P, Kingsley K, Howard KM. Oral Prevalence of *Selenomonas noxia* Differs among Orthodontic Patients Compared to Non-Orthodontic Controls: A Retrospective Biorepository Analysis. *Pathogens*. 2024;13(8):670. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens13080670>
20. Chandra S, Jha AK, Asiri SN, Naik A, Sharma S, Nair A, Manek PV. Effect of Fixed Orthodontic Appliances on Oral Microbial Changes and Dental Caries Risk in Children: A 6-Month Prospective Study. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*. 2024;16(Suppl 3):S2353–S2355. DOI: [https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs\\_303\\_24](https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_303_24)
21. Pardo A, Marcoccia S, Montagnini C, Signoriello A, Messina E, Gaibani P, Burlacchini G, Salgarelli C, Signoretto C, Zerman N. Microbiological Investigation and Clinical Efficacy of Professional Topical Fluoride Application on *Streptococcus mutans* and *Selenomonas sputigena* in Orthodontic Patients: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Microorganisms*. 2025;13(11):2506. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms13112506>
22. Reichardt E, Eigenthaler M, Jost-Brinkmann PG, Stellzig-Eisenhauer A, Verna C, Plumeier I, Kahl S, Junca H, Vilchez-Vargas R, Pieper DH. Influence of orthodontic appliances and nitrate on the oral microbiota. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2025;109(1):111. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-025-13496-0>
23. Müller LK, Jungbauer G, Jungbauer R, Wolf M, Deschner J. Biofilm and Orthodontic Therapy. *Monographs in Oral Science*. 2021;29:201–213. DOI: <https://doi.org/10.1159/000510193>
24. Li Q, Du Y, Yang K. Comparison of pain intensity and impacts on oral health-related quality of life between orthodontic patients treated with clear aligners and fixed appliances: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*. 2023;23(1):920. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03681-w>
25. Alfawal AMH, Burhan AS, Mahmoud G, Ajaj MA, Nawaya FR, Hanafi I. The impact of non-extraction orthodontic treatment on oral health-related quality of life: clear aligners versus fixed appliances-a randomized controlled trial. *European Journal of Orthodontics*. 2022;44(6):595–602. DOI: <https://doi.org/10.1093/ejo/cjac012>
26. Kaklamanos EG, Makrygiannakis MA, Athanasiou AE. Oral Health-Related Quality of Life throughout Treatment with Clear Aligners in Comparison to Conventional Metal Fixed Orthodontic Appliances: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023;20(4):3537. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20043537>
27. Singh N, Sharma S, Varshney SR, Bhatnagar D, Tomer G, Sethy P, Mishra P, Sharma A. Oral health-related quality of life among adults undergoing orthodontic procedure with ceramic braces versus aligners. *Bioinformation*. 2025;21(5):1128–1134. DOI: <https://doi.org/10.6026/973206300211128>
28. AlMogbel A. Patient Satisfaction with Clear Aligners vs. Traditional Braces: A Comparative Study. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*. 2025;17(Suppl 2):S1291–S1293. DOI: [https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs\\_252\\_25](https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_252_25)
29. Ajwa NM. Oral health-related quality of life of orthodontic clear aligner versus conventional fixed appliance during treatment: A prospective cohort study. *Technology and Health Care*. 2025;33(5):2114–2124. DOI: <https://doi.org/10.1177/09287329251326022>
30. Correa L, Albaladejo A, Curto A. A longitudinal pilot study examining the influence of the orthodontic system chosen in adult patients (brackets versus aligners) on oral health-related quality of life and anxiety. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):745. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04464-7>
31. Abutaleb MA, Latief MHAE, Montasser MA. Reflection on patients' experience with orthodontic appliances wear and its impact on oral health related quality of life: observational comparative study. *BMC Oral Health*. 2023;23(1):502. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03205-6>
32. Chong H, Peh J, Weir T, Meade MJ. Patient experiences with clear aligners: a scoping review. *European Journal of Orthodontics*. 2025;47(3):cjaf017. DOI: <https://doi.org/10.1093/ejo/cjaf017>
33. Toyama N, Ono T, Ono T, Nakashima T. The interleukin-6 signal regulates orthodontic tooth movement and pain. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2023;684:149068. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2023.09.096>
34. Aly AE, Hansa I, Ferguson DJ, Vaid NR. The effect of alpha binaural beat music on orthodontic pain after initial archwire placement: A randomized controlled trial. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2023;27(6):e2221150. DOI: <https://doi.org/10.1590/2177-6709.27.6.e2221150.oar>
35. Jedliński M, Belfus J, Milona M, Mazur M, Grocholewicz K, Janiszewska-Olszowska J. Orthodontic treatment demand for fixed treatment and aligners among young adults in middle Europe and South America – a questionnaire study. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):292. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04023-0>
36. Panaite T, Romanec CL, Adina A, Carina B, Savin C, Sirghie A. Psychosocial Determinants of Patient Satisfaction in Orthodontic Treatment: A Pilot Cross-Sectional Survey in North-Eastern Romania. *Medicina (Kaunas)*. 2025;61(8):1328. DOI: <https://doi.org/10.3390/medicina61081328>
37. Saccomanno S, Saran S, Laganà D, Mastrapasqua RF, Grippaudo C. Motivation, Perception, and Behavior of the Adult Orthodontic Patient: A Survey Analysis. *BioMed Research International*. 2022;2022:2754051. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/2754051>
38. Saccomanno S, Saran S, Petricca MT, Caramaschi E, Ferrante L, Inchingolo F, Inchingolo AM, Palermo A, Dipalma G, Inchingolo AD. Does orthodontic postgraduate education influence the choice of orthodontic treatment? *Frontiers in Dental Medicine*. 2025;6:1665422. DOI: <https://doi.org/10.3389/fdmed.2025.1665422>
39. Zhang M, Liu X, Wang Z, Zhang R, Zhang T, Ma Y, Jin Z. From awareness to action: a cross-sectional survey on orthodontic treatment knowledge, attitudes, practices, and satisfaction in Xi'an, China. *BMC Oral Health*. 2025;25(1):1074. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-025-06430-3>

40. Ferlias N, Krogsgaard C, Schaldemose S, Ohlsgaard IT, Stoustrup P. Patients' and Parents' Perceptions of a "Good" Orthodontic Treatment. *Cureus*. 2025;17(8):e89295. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.89295>
41. Kloukos D, Kalimeri E, Gkourtsogianni S, Kantarci A, Katsaros C, Stavropoulos A. Impact of fixed orthodontic appliances on blood count and high-sensitivity C-reactive protein levels: A prospective cohort study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2023;164(3):351–356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2023.01.016>
42. Klein Y, David E, Pinto N, Khoury Y, Barenholz Y, Chaushu S. Breaking a dogma: orthodontic tooth movement alters systemic immunity. *Progress in Orthodontics*. 2024;25(1):38. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40510-024-00537-z>
43. Chaushu S, Klein Y, Mandelboim O, Barenholz Y, Fleissig O. Immune Changes Induced by Orthodontic Forces: A Critical Review. *Journal of Dental Research*. 2022;101(1):11–20. DOI: <https://doi.org/10.1177/00220345211016285>
44. Kitaura H, Ohori F, Marahleh A, Ma J, Lin A, Fan Z, Narita K, Murakami K, Kanetaka H. The Role of Cytokines in Orthodontic Tooth Movement. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025;26(14):6688. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms26146688>
45. Zogakis IP, Koren E, Gorelik S, Ginsburg I, Shalish M. Effect of fixed orthodontic appliances on nonmicrobial salivary parameters. *The Angle Orthodontist*. 2018;88(6):806–811. DOI: <https://doi.org/10.2319/111317-773.1>
46. Swathi S, Pasupuleti S, Manyam R, Kumar Varma DP. The relationship between salivary alpha-amylase, nitric oxide, pain and anxiety-induced stress in patients during dental treatment. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology*. 2023;27(2):426. DOI: [https://doi.org/10.4103/jomfp.jomfp\\_136\\_22](https://doi.org/10.4103/jomfp.jomfp_136_22)
47. Ouédraogo Y, Sakira AK, Ouédraogo M, Tapsoba I, Konsem T, Beugré JB. Influence of pH on the release of nickel ions from fixed orthodontic appliances in artificial saliva. *Journal of Orthodontic Science*. 2024;13:49. DOI: [https://doi.org/10.4103/jos.jos\\_8\\_24](https://doi.org/10.4103/jos.jos_8_24)
48. Daraqel B, Yingying T, Zheng L. Flash-free and conventional adhesive ceramic brackets in patients undergoing orthodontic treatment: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2023;26(1):1–12. DOI: <https://doi.org/10.1111/ocr.12585>
49. Soliman TA, Robaian A, Alqhtani NR, Alshehri A, Alqahtani AS, Aljulyfy IS, Alazzazi M, Elkaffas A, AlGhannam SS, Ghorab S. Debonding Characteristic and Survival Probability of Adhesive Flash-Free Ceramic Orthodontic Brackets Following pH Cycling. *European Journal of Dentistry*. 2025;19(2):449–456. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0044-1795125>
50. Alam MK, Alruwaili SRF, Alderaan RAI, Alanazi DSA. Nanoparticles in Preventing Biofilm Formation on Orthodontic Brackets: Clinical Study. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*. 2024;16(Suppl 1):S534–S536. DOI: [https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs\\_850\\_23](https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_850_23)
51. Sycińska-Dziarnowska M, Szyszka-Sommerfeld L, Ziabka M, Spagnuolo G, Woźniak K. Use of Antimicrobial Silver Coatings on Fixed Orthodontic Appliances, Including Archwires, Brackets, and Microimplants: A Systematic Review. *Medical Science Monitor*. 2024;30:e944255. DOI: <https://doi.org/10.12659/MSM.944255>
52. Park SH, Kim K, Cho S, Chung DH, Ahn SJ. Variation in adhesion of *Streptococcus mutans* and *Porphyromonas gingivalis* in saliva-derived biofilms on raw materials of orthodontic brackets. *Korean Journal of Orthodontics*. 2022;52(4):278–286. DOI: <https://doi.org/10.4041/kjod21.283>
53. Mundhada VV, Jadhav VV, Reche A. A Review on Orthodontic Brackets and Their Application in Clinical Orthodontics. *Cureus*. 2023;15(10):e46615. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.46615>
54. Villaman-Santacruz H, Torres-Rosas R, Acevedo-Mascarúa AE, Argueta-Figueroa L. Root resorption factors associated with orthodontic treatment with fixed appliances: A systematic review and meta-analysis. *Dental and Medical Problems*. 2022;59(3):437–450. DOI: <https://doi.org/10.17219/dmp/145369>
55. Olawade DB, Leena N, Egbon E, Rai J, Mohammed APEK, Oladapo BI, Boussios S. AI-Driven Advancements in Orthodontics for Precision and Patient Outcomes. *Dentistry Journal*. 2025;13(5):198. DOI: <https://doi.org/10.3390/dj13050198>
56. Steinberg T, Jung B, Husari A, Bai S, Tomakidi P. Shaping Orthodontics of the Future: Concepts and Implications from a Cellular and Molecular Perspective. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025;26(17):8203. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms26178203>

Дата першого надходження статті до видання: 27.07.2026  
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.08.2026  
Дата публікації (оприлюднення) статті: 09.10.2026