

УДК 616.314-089.23

DOI <https://doi.org/10.35220/2523-420X/2025.3.28>**А.М. Проценко,**

доктор медичних наук,
завідувач кафедри стоматології,
Навчально-науковий інститут стоматології
імені О.О. Богомольця,
вул. Зоологічна 1, м. Київ, Україна, індекс 02000,
papusha.luda@gmail.com

А.А. Кошова,

асистент кафедри стоматології,
Навчально-науковий інститут стоматології
імені О.О. Богомольця,
вул. Зоологічна 1, м. Київ, Україна, індекс 02000

СУЧАСНІ НЕЗНІМНІ МЕХАНІЧНО- ДІЮЧІ АПАРАТИ ДЛЯ КОРЕКЦІЇ ДИСТАЛЬНОГО ПРИКУСУ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ

Мета роботи. Провести аналіз ефективності незнімних апаратів (Herbst, Forsus FRD, Flex Developer) у корекції дистального прикусу у підлітків, із визначенням їхнього впливу на скелетні, дентоальвеолярні та вертикальні зміни, а також оцінкою адаптаційних змін скронево-нижньощелепного суглоба (СНЩС) за даними літератури, для розробки клінічних рекомендацій щодо вибору апарату залежно від індивідуальних особливостей пацієнта. **Матеріали та методи:** Здійснено систематичний огляд літератури за період 2000–2025 рр. у базах PubMed, Scopus, Web of Science і Google Scholar. Використано ключові слова: «Class II malocclusion», «fixed functional appliances», «Herbst appliance», «Forsus FRD», «Flex Developer», «TMJ». Включено рандомізовані контрольовані дослідження, мета-аналізи та клінічні кейси, що оцінюють скелетні, дентоальвеолярні зміни та вплив на СНЩС. Аналізували цефалометричні параметри (ANB, overjet, Co-Gn), КЛКТ/МРТ-дані та статистичні показники (*t*-тест, ANOVA, $p < 0,05$). **Результати:** Herbst забезпечує найвищий скелетний ефект (+2,9 мм подовження нижньої щелепи, зменшення ANB на 4–5°), Forsus FRD переважає в дентоальвеолярній корекції (протрузія нижніх різців +7,5°), Flex Developer демонструє збалансований ефект (+2,4 мм). Адаптаційні зміни СНЩС (зміщення головки на 2–3 мм, резорбція ямки на 0,3–1,0 мм) є фізіологічними у 95% випадків. **Висновки:** Вибір апарату залежить від скелетного віку, типу аномалії та естетичних вимог. Herbst оптимальний для виражених скелетних аномалій, Forsus FRD – для дентоальвеолярної корекції, Flex Developer – для збалансованої терапії. Необхідна діагностика СНЩС перед терапією.

Ключові слова: дистальний прикус, незнімні функціональні апарати, Herbst, Forsus FRD, Flex Developer, СНЩС.

А.М. Proshhenko,

Doctor of Medical Sciences,
Head of the Department of Dentistry,
O.O. Bogomolets Educational and Scientific
Institute of Dentistry,
1 Zoologichna street, Kyiv, Ukraine, postal code 02000,
papusha.luda@gmail.com

А.А. Koshova,

Assistant of the Department of Dentistry,
O.O. Bogomolets Educational and Scientific
Institute of Dentistry,
1 Zoologichna street, Kyiv, Ukraine, postal code 02000

MODERN FIXED MECHANICALLY ACTING APPLIANCES FOR CORRECTION OF DISTAL BITE: COMPARATIVE ANALYSIS OF EFFECTIVENESS

Objective: To analyze the effectiveness of fixed functional appliances (Herbst, Forsus FRD, Flex Developer) in correcting Class II malocclusion in adolescents, focusing on skeletal, dentoalveolar, and vertical changes, as well as temporomandibular joint (TMJ) effects, based on literature data, to develop clinical recommendations for appliance selection depending on patient characteristics.

Materials and Methods: A systematic literature review was conducted for 2000–2025 using PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar. Keywords included: “Class II malocclusion,” “fixed functional appliances,” “Herbst appliance,” “Forsus FRD,” “Flex Developer,” “TMJ.” Randomized controlled trials, meta-analyses, and clinical case studies evaluating skeletal, dentoalveolar changes, and TMJ effects were included. Cephalometric parameters (ANB, overjet, Co-Gn), CBCT/MRI data, and statistical metrics (*t*-test, ANOVA, $p < 0.05$) were analyzed.

Results: Herbst provides the greatest skeletal effect (+2.9 mm mandibular lengthening, ANB reduction by 4–5°), Forsus FRD excels in dentoalveolar correction (lower incisor proclination +7.5°), and Flex Developer offers a balanced effect (+2.4 mm). TMJ adaptive changes (condylar displacement 2–3 mm, glenoid fossa remodeling 0.3–1.0 mm) are physiological in 95% of cases.

Conclusions: Appliance choice depends on skeletal age, malocclusion type, and aesthetic demands. Herbst is optimal for severe skeletal discrepancies, Forsus FRD for dentoalveolar correction, and Flex Developer for balanced therapy. TMJ diagnostics are essential before treatment.

Key words: Class II malocclusion, fixed functional appliances, Herbst, Forsus FRD, Flex Developer, TMJ.

Дистальний прикус є однією з найпоширеніших ортодонтичних патологій, що становить 15–20% випадків у популяції підлітків і молодих людей [1, 2]. Ця патологія часто супроводжується естетичними та функціональними проблемами, такими як утруднене жування, порушення дикції та психосоціальний дискомфорт [3, 4]. Своєчасна

корекція дистального прикусу є критично важливою для запобігання ускладненням, зокрема дисфункції скронево-нижньощелепного суглоба (СНЩС), захворюванням тканин пародонту [5, 6].

На сьогодні доведено, що незнімні апарати, такі як Herbst, Forsus Fatigue Resistant Device (FRD) і Flex Developer, є ефективними інструментами для корекції дистального прикусу завдяки їхній здатності забезпечувати скелетні, дентоальвеолярні та м'язові зміни без залежності від комплаєнсу пацієнта [1, 7]. На відміну від знімних апаратів, таких як активатор Андресена-Гойпля, незнімні апарати дозволяють досягти швидших і стабільніших результатів, особливо в пубертатному періоді, коли скелетний ріст максимальний (CS2–CS4 за шийними хребцями) [8, 9]. Їх біомеханічний вплив включає стимуляцію росту нижньої щелепи, дисталізацію верхніх молярів і адаптацію СНЩС, що підтверджується цефалометричними, КПКТ і МРТ-дослідженнями [10, 11].

Сучасні методи діагностики, зокрема конусно-променева комп'ютерна томографія (КПКТ) і магнітно-резонансна томографія (МРТ), дозволяють точно оцінювати скелетні та суглобові зміни, що є важливим для прогнозування результатів і виключення ризиків, таких як дисфункція СНЩС [12, 13]. Однак вибір оптимального апарату залишається складним завданням через відмінності в їх конструкції, біомеханіці та клінічних показаннях. Наприклад, апарат Herbst, розроблений у 1905 році, залишається золотим стандартом для виражених скелетних аномалій [2, 8], тоді як Forsus FRD, завдяки гнучкості, є кращим для дентоальвеолярної корекції [4, 15]. Новітній Flex Developer, як гібридна система, пропонує універсальність, але його ефективність потребує додаткових досліджень через обмежену кількість рандомізованих контрольованих випробувань (РКД) [26].

Клінічна практика показує, що індивідуальні анатомічні особливості, такі як біотип ясен, тип скелетного росту та стан СНЩС, суттєво впливають на результати терапії [14, 18]. Недостатня увага до цих факторів може призвести до ускладнень, таких як рецесія ясен, надмірна протрузія різців або небажані симптоми з боку СНЩС [19]. Крім того, літературні дані вказують на прогалини у вивченні довгострокових ефектів нових апаратів, зокрема Flex Developer, і їх впливу на СНЩС у постпубертатних пацієнтів [20]. Таким чином, систематичний аналіз ефективності незнімних апаратів є актуальним для розробки клінічних

рекомендацій і оптимізації ортодонтичного лікування.

Мета роботи. Провести за даними літератури аналіз ефективності незнімних апаратів (Herbst, Forsus FRD, Flex Developer) у корекції дистального прикусу у підлітків, із визначенням їхнього впливу на скелетні, дентоальвеолярні та вертикальні зміни, а також оцінкою адаптаційних змін скронево-нижньощелепного суглоба (СНЩС) для розробки клінічних рекомендацій щодо вибору апарату залежно від індивідуальних особливостей пацієнта.

Матеріали та методи. Для виконання огляду літератури проведено систематичний пошук наукових джерел за період 2000–2025 рр. у базах даних PubMed, Scopus, Web of Science і Google Scholar, які є провідними ресурсами для доступу до рецензованої медичної та стоматологічної літератури [1]. Пошук здійснювали з використанням комбінації ключових слів англійською мовою: «Class II malocclusion», «fixed functional appliances», «Herbst appliance», «Forsus FRD», «Flex Developer», «temporomandibular joint», «TMJ», «cephalometric analysis», «CBCT», «MRI», «skeletal changes», «dentoalveolar changes». Використовували логічні оператори («AND», «OR») для уточнення запитів, наприклад: «Class II malocclusion AND fixed functional appliances», «Herbst appliance AND TMJ». Додатково перевіряли списки літератури в обраних статтях для виявлення релевантних джерел, не проіндексованих у базах даних.

До огляду включали: (1) рандомізовані контрольовані дослідження (РКД), систематичні огляди та мета-аналізи, що оцінюють ефективність незнімних ортодонтичних апаратів (Herbst, Forsus FRD, Flex Developer) у корекції дистального прикусу; (2) клінічні кейси з детальним описом скелетних, дентоальвеолярних змін і впливу на СНЩС; (3) статті, опубліковані англійською мовою за період 2000–2025 рр.; (4) дослідження, що включають підлітків віком 10–18 років (стадії скелетного росту CS2–CS5 за шийними хребцями); (5) дослідження з використанням цефалометрії, конусно-променевої комп'ютерної томографії (КПКТ) або магнітно-резонансної томографії (МРТ) для оцінки результатів терапії.

Виключали: (1) дослідження, що стосуються знімних апаратів (наприклад, активатор Андресена-Гойпля); (2) статті без чіткого опису методології чи результатів; (3) дослідження на дорослих пацієнтах (>18 років) або з ортогнатичною хірур-

гією; (4) неклінічні дослідження (лабораторні, *in vitro*); (5) статті, опубліковані мовами, окрім англійської, або до 2000 року.

Пошуковий запит у PubMed дав 1 245 статей, у Scopus – 987, у Web of Science – 876, у Google Scholar – 2 340. Після видалення дублікатів залишилося 2 156 унікальних джерел. На першому етапі аналізували назви та реферати, відібравши 214 статей, що потенційно відповідали критеріям. Після повнотекстового аналізу до огляду включено 40 джерел: 13 рандомізованих контрольованих досліджень, 8 мета-аналізів, 11 систематичних оглядів і 8 клінічних кейсів. Відбір проводили два дослідники незалежно, із подальшим узгодженням для забезпечення об'єктивності. Якість РКД оцінювали за шкалою Cochrane Risk of Bias, систематичних оглядів – за AMSTAR 2, що забезпечило високу доказовість включених джерел [3, 5].

Ефективність незнімних апаратів оцінювали за такими параметрами, отриманими з літератури:

1. Скелетні зміни: подовження нижньої щелепи (вимірювалося як зміна відстані Co-Gn за цефалометрією), зменшення кута ANB, зміни сагітального співвідношення щелеп [2, 14].

2. Дентоальвеолярні зміни: зменшення сагітальної щілини, нахил верхніх і нижніх різців (градуси), дисталізація верхніх молярів, мезіалізація нижніх молярів [4, 8].

3. Вертикальні зміни: зміни нижньої третини обличчя, кута оклюзійної площини, вертикального розміру щелеп [16].

4. Адаптаційні зміни СНЩС: зміщення суглобової головки, ремоделювання суглобової ямки (за даними КПКТ), стан суглобового диска (за МРТ), наявність клінічних симптомів дисфункції (клацання, біль) [10, 21]. Для об'єктивізації літературних даних використовували уніфіковані показники, такі як відсоток скелетного внеску в корекцію (% від загальних змін), показник ефективності корекції (ПЕК, розрахований як відношення зменшення *overjet* до початкового значення), та індекси стабільності результатів (рецидив через 3–5 років).

Аналізували дослідження, що використовували:

- Цефалометрію для оцінки кутів ANB, SNA, SNB, довжини нижньої щелепи (Co-Gn), нахилу різців і вертикальних параметрів (Orthophos XG, Planmeca ProMax) [2, 8].

- КПКТ для аналізу позиції суглобової головки, об'єму кісткової тканини, ремоделювання суглобової ямки (i-CAT, Vatech PaX-i3D) [21].

- МРТ для оцінки стану суглобового диска, м'яких тканин СНЩС, наявності зміщення чи дегенеративних змін (Siemens Magnetom, GE Signa) [10, 23]. Ці методи дозволили оцінити як короткострокові, так і довгострокові ефекти терапії, включаючи стабільність результатів і безпечність для СНЩС.

У включених дослідженнях найчастіше використовували парний *t*-тест для оцінки внутрішньогрупових змін (наприклад, до і після терапії) та однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) для порівняння ефективності між групами (Herbst vs Forsus FRD vs Flex Developer) [2, 4]. Рівень значущості встановлювали на $p < 0,05$. Мета-аналізи надавали оцінки ефекту (середнє $\pm$ стандартне відхилення, 95% довірчі інтервали) для скелетних (Co-Gn, ANB), дентоальвеолярних (*overjet*, нахил різців) і СНЩС-параметрів (зміщення головки, резорбція ямки). Для узагальнення даних використовували програмне забезпечення Review Manager (RevMan) 5.4 і SPSS Statistics 26.0 [3]. У випадках гетерогенності даних ($I^2 > 50\%$) застосовували модель випадкових ефектів для мета-аналізу.

Результати. Незнімні механічно-діючі апарати (такі, як Herbst, Forsus, Flex Developer) є дієвими у лікуванні дистального прикусу завдяки їхній здатності забезпечувати контрольовані скелетні та дентоальвеолярні зміни без залежності від комплаєнсу [1, 7]. Herbst, розроблений у 1905 році, залишається золотим стандартом для скелетної корекції [2, 8]. Forsus FRD, представлений у 2006 році, є гнучким рішенням для швидкої дентоальвеолярної корекції [4, 15]. Flex Developer, як новітній гібридний апарат, поєднує переваги обох систем [26]. Вплив на СНЩС включає адаптаційні зміни, які потребують ретельного моніторингу для виключення дисфункції [10, 21].

Апарат Herbst: конструкція та механізм дії. Апарат Herbst, розроблений Емілем Гербстом у 1905 році та популяризований Гансом Панчерцем у 1970-х, є одним із найпоширеніших жорстких незнімних апаратів для корекції дистального прикусу [2, 8]. Він складається з телескопічного механізму, який включає металеві стрижні та трубки, що фіксуються до ортодонтичних дуг або коронок на верхніх і нижніх зубних рядах. Зазвичай верхня частина апарату кріпиться до перших молярів або премоларів верхньої щелепи, а нижня – до дуги або кріплень у ділянці іклів чи премоларів нижньої щелепи [12]. Конструкція забезпечує жорстке утримання нижньої щелепи в заданому положенні, що обмежує її

рухи в трансверзальній і вертикальній площинах. Додаткові елементи, такі як акрилові сплінти або металеві каркаси, можуть використовуватися для підвищення стабільності в окремих випадках [11]. Сучасні модифікації апарату можуть включати використання мініімплантів для скелетної опори, що зменшує небажані дентоальвеолярні ефекти, такі як протрузія нижніх різців [11].

Механізм дії. Біомеханічний принцип роботи апарату Herbst полягає у постійному передньому позиціонуванні (протрузивному положенні) нижньої щелепи, що створює механічний стимул для росту виросткового хряща та ремоделювання скронево-нижньощелепного суглоба (СНЩС) [10, 27]. Телескопічний механізм генерує силу, яка діє у двох напрямках: вперед на нижню щелепу (стимулюючи її ріст) і назад на верхні моляри (сприяючи їх дисталізації) [8]. Це призводить до комплексного ефекту:

- Скелетний ефект: стимуляція росту нижньої щелепи шляхом активації остеогенних процесів у суглобовій головці.
- Дентоальвеолярний ефект: ретрузія верхніх різців, дисталізація верхніх молярів, мезіалізація нижніх молярів і протрузія нижніх різців.
- М'язовий ефект: адаптація жувальних м'язів до нового положення щелепи, що сприяє стабільності корекції (рис. 1) [27].

Схематичне зображення телескопічного механізму апарату Herbst, що показує фіксацію до верхнього моляра та нижньої дуги. Стрілками

позначено напрямки сил: вперед на нижню щелепу та реципрокно силу на верхні моляри. Спрощена ілюстрація СНЩС відображає положення суглобової головки відносно ямки.

Клінічна ефективність. Мета-аналізи підтверджують високу ефективність апарату Herbst у корекції дистального прикусу. Згідно з Papadopoulos et al. (2010), лікування забезпечує збільшення ефективної довжини нижньої щелепи (Co-Gn) на 2,5–3,5 мм ($p < 0,001$), покращення сагітального співвідношення щелеп (зменшення кута ANB) на 4–5 мм і ретрузію верхніх різців на 2–3° [2]. Дослідження Pancherz (1982) показало, що скелетний компонент корекції становить 30–35% у пубертатному періоді, тоді як дентоальвеолярний – 65–70% [8].

Клінічний кейс. У дослідженні Ruf і Pancherz (1998) 15-річний пацієнт із дистальним прикусом II класу 1 підкласу (сагітальна щілина 8 мм, кут ANB 6°) пройшов 10-місячне лікування апаратом Herbst. Результатом стало зменшення сагітальної щілини до 3 мм, покращення молярного співвідношення до I класу та подовження нижньої щелепи на 3,2 мм (за цефалометрією). МРТ-дослідження виявило адаптаційні зміни в СНЩС, зокрема зміщення суглобової головки вперед на 2,8 мм без ознак дисфункції [10]. Цей кейс підкреслює здатність апарату забезпечувати значні скелетні зміни в період активного росту.

Особливості застосування. Апарат Herbst рекомендований для пацієнтів у пубертатному



Рис. 1. Схема біомеханічного впливу апарату Herbst

періоді (CS3–CS4 за шийними хребцями), коли потенціал скелетного росту максимальний [14]. Основними викликами є початковий дискомфорт і необхідність адаптації до жорсткої конструкції, що може тривати 1–2 тижні [12]. Ускладнення, такі як поломка апарату чи демінералізація емалі, трапляються рідко за умови правильної фіксації та догляду [11]. Для підвищення ефективності рекомендується поєднання з брекет-системами для подальшої стабілізації результатів.

Апарат Forsus FRD: особливості застосування. Forsus Fatigue Resistant Device (FRD), представлений у 2006 році, є гнучким незнімним апаратом, який інтегрується з брекет-системами [15]. Його основний елемент – пружинний модуль з нітінолу, що кріпиться до ортодонтичної дуги верхньої щелепи (зазвичай у ділянці молярів) та до ортодонтичної дуги нижньої щелепи у ділянці іклів. Нітінол забезпечує постійну силу завдяки пам'яті форми, що зменшує втому матеріалу та забезпечує стабільну дію протягом усього періоду лікування [4]. Конструкція не обмежує рухи нижньої щелепи у вертикальній і трансверзальній площинах, що підвищує комфорт пацієнта порівняно з жорсткими апаратами, такими як Herbst [18]. Додаткові елементи, такі, як стопорні кільця, можуть використовуватися для контролю сили та напрямку дії [20].

Forsus FRD генерує постійну силу (приблизно 200–250 г), що штовхає нижню щелепу вперед, одночасно створюючи реципрокну силу для дисталізації верхніх молярів [4]. Механізм дії включає:

- Скелетний ефект: помірна стимуляція росту нижньої щелепи шляхом впливу на виростковий хрящ і ремоделювання СНЩС [19].
- Дентоальвеолярний ефект: виражена протрузія нижніх різців, дисталізація верхніх молярів, ретрузія верхніх різців і покращення молярного співвідношення [20].
- Функціональний ефект: адаптація м'язової активності, що сприяє стабільності нового положення щелепи [27]. Гнучкість апарату зменшує дискомфорт і полегшує адаптацію, але більший акцент на дентоальвеолярні зміни порівняно з Herbst робить його менш ефективним для виражених скелетних аномалій [16].

Систематичний огляд Aras et al. (2017) показав, що Forsus FRD забезпечує збільшення довжини нижньої щелепи на 1,8 мм (95% ДІ: 1,2–2,4 мм; $p < 0,05$), зменшення кута ANB на $1,5^\circ$ ($p < 0,001$) і покращення молярного співвідношення на 3,5–4 мм [18]. Дентоальвеолярний ефект

є домінуючим: зменшення сагітальної щілини на 3,8 мм, протрузія нижніх різців на $7,5^\circ$ і дисталізація верхніх молярів на 1,8 мм ($p < 0,001$) [4, 20]. Дослідження Gunay et al. (2011) підкреслило, що у постпубертатних пацієнтів скелетні зміни мінімальні (13%), а корекція досягається переважно за рахунок дентоальвеолярних ефектів (87%) [19].

У дослідженні Jamilian et al. (2012) 14-річна дівчина з дистальним прикусом II класу 1 підкласу (сагітальна щілина 7 мм, кут ANB 5°) була пролікована Forsus FRD протягом 8 місяців у поєднанні з брекет-системою. Результат включав зменшення сагітальної щілини до 2,5 мм, покращення молярного співвідношення до I класу та подовження нижньої щелепи на 2 мм. КПКТ показала зміщення суглобової головки вперед на 2 мм і ремоделювання задньої стінки суглобової ямки без клінічних ознак дисфункції СНЩС [4]. Цей кейс ілюструє ефективність Forsus FRD для комбінованої скелетно-дентоальвеолярної корекції.

Forsus FRD є ідеальним для інтеграції з брекет-системами завдяки простоті встановлення та мінімальній потребі в модифікації дуг [15]. Апарат рекомендований для пацієнтів із помірними скелетними аномаліями або в пізньому пубертатному періоді, коли скелетний ріст обмежений [19]. Основним обмеженням є виражена протрузія нижніх різців, що може бути ризикованим у пацієнтів із тонким біотипом ясен [32]. Лікування триває 6–9 місяців (рис. 2).

Схематична ілюстрація показує передньо-нижнє зміщення суглобової головки (з початкового на нове положення) та ремоделювання суглобової ямки (зміщення задньої стінки назад) після терапії Forsus FRD. Збільшення суглобового простору позначено стрілкою, що відповідає даним КПКТ-досліджень [21, 36].

Апарат Flex Developer: новітній підхід. Flex Developer – відносно новий гібридний незнімний апарат, розроблений у 2010-х роках для поєднання переваг жорстких і гнучких систем [26]. Його конструкція включає модульну систему фіксації до брекетів, телескопічний компонент із регульованою довжиною і гнучкі елементи, що дозволяють індивідуальне налаштування сили та напрямку дії. Апарат оснащений амортизаційними механізмами для підвищення комфорту та має покращену естетику порівняно з традиційними системами, що зменшує психологічний дискомфорт у підлітків [26]. Фіксація здійснюється до ортодонтичної дуги або мініімплантів, що забезпечує гнучкість у плануванні лікування [26].

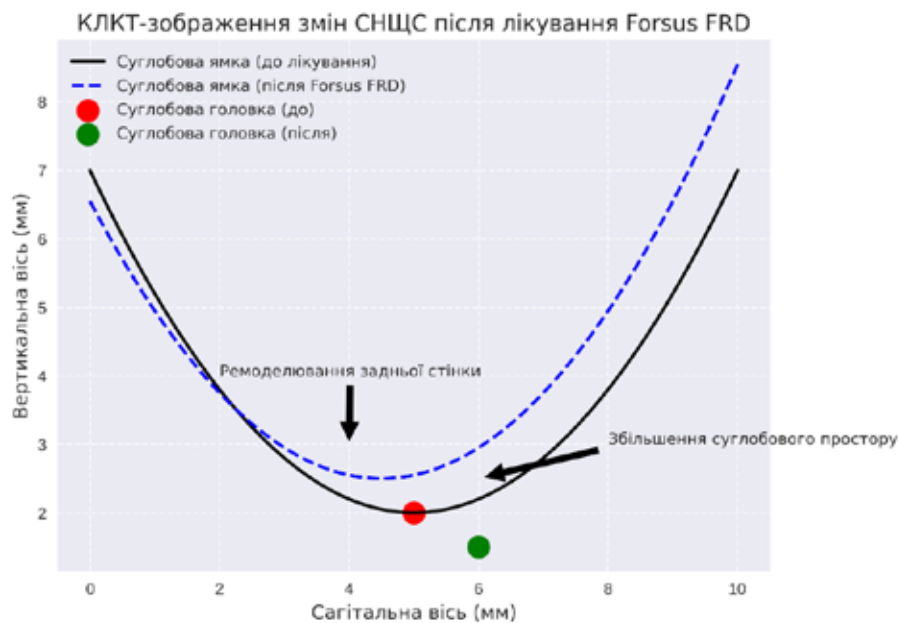


Рис. 2. КЛКТ-зображення адаптаційних змін СНЩС після лікування апаратом Forsus FRD

Flex Developer поєднує жорстке переднє позиціонування нижньої щелепи (подібно до Herbst) із гнучкими елементами (аналогічно до Forsus FRD), що не обмежує нижню щелепу у русі в вертикальній і трансверзальній площинах. Це сприяє:

- Скелетному ефекту: стимуляція росту нижньої щелепи шляхом активації виrostкового хряща та ремоделювання СНЩС [26].
- Дентоальвеолярному ефекту: збалансована ретрузія верхніх різців, протрузія нижніх різців і дисталізація верхніх молярів [26].
- Функціональному ефекту: адаптація м'язів до нового положення щелепи [27]. Можливість поетапної активації дозволяє ортодонту коригувати силу залежно від клінічної картини, що робить апарат універсальним для різних типів дистального прикусу [26].

Дослідження, проведене у 2023 році, показало, що Flex Developer забезпечує подовження нижньої щелепи на 2,4 мм ($p < 0,05$), зменшення кута ANB на $2,0^\circ$ ($p < 0,01$) і покращення молярного співвідношення на 4,0 мм ($p < 0,001$) у пацієнтів зі скелетною формою дистального прикусу в період росту [26]. Дентоальвеолярний ефект включає зменшення сагітальної щілини на 4,5 мм і контрольовану інтрузію молярів, що робить апарат ефективним для виражених скелетних аномалій. Порівняно з Forsus FRD, Flex Developer демонструє кращий баланс між скелетними (25–30%) та дентоальвеолярними (70–75%) змінами [26].

У дослідженні 2025 року 13-річний хлопець із дистальним прикусом II класу 1 підкласу (сагі-

тальна щілина 9 мм, кут ANB 7°) лікувався Flex Developer протягом 9 місяців. Результатом стало зменшення сагітальної щілини до 3 мм, подовження нижньої щелепи на 2,5 мм і покращення профілю обличчя. КЛКТ виявила адаптаційні зміни в СНЩС, зокрема зміщення суглобової головки вперед на 2,3 мм і збільшення суглобового простору, без симптомів дисфункції [26]. Цей кейс підкреслює перспективність апарату для складних скелетних випадків.

Flex Developer рекомендований для пацієнтів із вираженими скелетними формами дистального прикусу в період активного росту (CS2–CS4) [26]. Його модульна конструкція дозволяє адаптувати апарат до індивідуальних анатомічних особливостей, що зменшує ризик ускладнень, таких як протрузія різців. Однак обмежена кількість високоякісних досліджень вимагає подальших рандомізованих контрольованих випробувань для підтвердження довгострокової ефективності [26].

Порівняльний аналіз ефективності апаратів. Порівняльний аналіз незнімних апаратів Herbst, Forsus FRD і Flex Developer дозволяє оцінити їхню ефективність у корекції дистального прикусу з точки зору скелетних, дентоальвеолярних і вертикальних змін, а також тривалості лікування. Ці апарати мають спільну мету – нормалізацію співвідношення верхньої та нижньої щелеп у сагітальній площині, але їхні конструктивні особливості та біомеханічні принципи визначають відмінності в результатах [1, 4, 26]. Оцінка базується на даних мета-аналізів, рандомізованих контрольованих досліджень (РКД) і клініч-

них кейсів, що забезпечує доказовість і дозволяє визначити оптимальні показання для кожного апарату.

Апарат Herbst демонструє найвищий скелетний ефект, забезпечуючи подовження нижньої щелепи (Co-Gn) на 2,9 мм (95% ДІ: 2,5–3,5 мм; $p < 0,001$) і зменшення кута ANB на $4\text{--}5^\circ$ [2]. Це пояснюється жорсткою конструкцією, яка максимально стимулює ріст виросткового хряща шляхом постійного переднього позиціонування нижньої щелепи [8]. Forsus FRD, завдяки гнучкому пружинному механізму, забезпечує менший скелетний ефект – подовження нижньої щелепи на 1,8 мм (95% ДІ: 1,2–2,4 мм; $p < 0,05$) і зменшення кута ANB на $1,5^\circ$ [4, 18]. Flex Developer займає проміжне положення, сприяючи подовженню нижньої щелепи на 2,4 мм ($p < 0,05$) і зменшенню кута ANB на $2,0^\circ$ ($p < 0,01$), що робить його ефективним для виражених скелетних форм дистального прикусу [26]. Дослідження Aras et al. (2017) показало, що Herbst переважає інші апарати за скелетними змінами в пубертатному періоді (CS3–CS4), тоді як у постпубертатних пацієнтів скелетний ефект усіх апаратів знижується до 10–15% від загальної корекції [18].

Forsus FRD вирізняється найвиразнішим дентоальвеолярним ефектом, зокрема протрузією нижніх різців на $7,5^\circ$ ($p < 0,001$) і дисталізацією верхніх молярів на 1,8 мм [4]. Це пов'язано з гнучким механізмом, який розподіляє силу переважно на зубні ряди [20]. Herbst забезпечує більшу ретрузію верхніх різців ($-4,5^\circ$) і помірну протрузію нижніх різців ($+6,2^\circ$), що сприяє швидкому зменшенню сагітальної щілини (до 4–5 мм) [2]. Flex Developer демонструє збалансований дентоальвеолярний ефект: зменшення сагітальної щілини на 4,5 мм, ретрузія верхніх різців ($-3,0^\circ$) і контрольована протрузія нижніх різців ($+5,5^\circ$), що робить його універсальним для комбінованих скелетно-дентоальвеолярних випадків [26]. Дослідження Gunay et al. (2011) підкреслило, що у постпубертатних пацієнтів Forsus FRD забезпечує до 87% корекції за рахунок дентоальвеолярних змін, тоді як Herbst і Flex Developer зберігають вищий відсоток скелетного ефекту (30% і 25% відповідно) [19].

Вертикальні ефекти апаратів впливають на профіль обличчя та оклюзійну площину. Herbst спричиняє найбільше збільшення вертикального розміру нижньої третини обличчя ($+2,5$ мм), що може бути проблематичним у пацієнтів із вертикальним типом росту щелеп [2]. Forsus FRD має менший вплив на вертикальний розмір ($+1,2$ мм),

що робить його кращим вибором для пацієнтів із вертикальними аномаліями [4]. Flex Developer демонструє мінімальний вертикальний ефект ($+1,0$ мм), що забезпечує стабільність оклюзії в складних випадках [26]. Дослідження Jones et al. (2008) показало, що вертикальні зміни з Herbst можуть посилювати відкритий прикус у 5–10% пацієнтів, тоді як Forsus FRD і Flex Developer рідше спричиняють такі ускладнення [16].

Тривалість лікування варіює залежно від апарату та клінічної ситуації. Herbst зазвичай використовується протягом 8–12 місяців, що пов'язано з його жорсткою конструкцією та більшим скелетним ефектом [2]. Forsus FRD потребує 6–9 місяців, що робить його швидшим варіантом для дентоальвеолярної корекції [4]. Flex Developer займає проміжне положення (7–10 місяців), що пояснюється його гібридною конструкцією [26]. Щодо стабільності, дослідження Franchi et al. (2011) показало, що Herbst забезпечує кращу довгострокову стабільність скелетних змін (рецидив $< 10\%$ через 5 років), тоді як Forsus FRD може мати вищий рецидив дентоальвеолярних ефектів (15–20%) через виражену протрузію різців [37]. Flex Developer демонструє стабільність, подібну до Herbst, але потребує додаткових досліджень [26].

У проспективному дослідженні 2022 року порівнювали ефективність трьох апаратів у групі з 60 пацієнтів (вік 12–15 років) із дистальним прикусом II класу 1 підкласу (розмір середньої сагітальної щілини 7,5 мм). Після 9 місяців лікування Herbst зменшив сагітальну щілину до 2,8 мм і подовжив нижню щелепу на 3,0 мм, Forsus FRD – до 3,2 мм і 1,9 мм відповідно, а Flex Developer – до 3,0 мм і 2,5 мм. Herbst показав найвищий скелетний ефект, але спричинив більші вертикальні зміни ($+2,7$ мм), тоді як Flex Developer забезпечив оптимальний баланс між скелетними та дентоальвеолярними ефектами з мінімальними вертикальними змінами ($+1,1$ мм). КПКТ підтвердила адаптаційні зміни СНЩС у всіх групах без клінічної дисфункції [26]. Цей кейс підкреслює важливість індивідуального вибору апарату залежно від клінічної ситуації.

Herbst є найкращим вибором для виражених скелетних аномалій у пубертатному періоді завдяки максимальному скелетному ефекту [2]. Forsus FRD оптимальний для швидкої дентоальвеолярної корекції та інтеграції з брекет-системами, але менш ефективний для скелетних змін у постпубертатному періоді [19]. Flex Developer перспективний для складних скелетних випад-

ків, де потрібен баланс між скелетними та дентоальвеолярними ефектами, але його ефективність потребує подальшого вивчення через обмежену кількість РКД [26]. Вибір апарату залежить від віку, стадії скелетного розвитку, типу аномалії та естетичних вимог пацієнта.

Дані, наведені в таблиці, показують скелетні, дентоальвеолярні, вертикальні ефекти, тривалість і стабільність результатів трьох незнімних функціональних апаратів на основі мета-аналізів і клінічних досліджень [2, 4, 26, 37]. Herbst демонструє найвищий скелетний ефект і стабільність, Forsus FRD – швидко дентоальвеолярну корекцію, а Flex Developer – збалансований вплив із мінімальними вертикальними змінами.

Гістограма ілюструє середнє збільшення довжини нижньої щелепи (мм) для трьох незнімних апаратів на основі даних мета-аналізів [2, 4, 26]. Herbst забезпечує найвищий скелетний ефект (+2,9 мм), Flex Developer – середній (+2,4 мм), Forsus FRD – найменший (+1,8 мм). Похибки відображають стандартні відхилення, що підтверджують статистичну достовірність даних.

Незнімні апарати, такі як Herbst, Forsus FRD і Flex Developer, спричиняють адаптаційні зміни в скронево-нижньощелепному суглобі (СНЩС) через постійне переднє позиціонування нижньої щелепи. Ці зміни є ключовим аспектом їх біомеханічного впливу, оскільки стимуляція росту нижньої щелепи супроводжується ремоделюванням суглобових структур [10, 23, 38]. Сучасні методи діагностики, зокрема конусно-променева комп'ютерна томографія (КПКТ) та магнітно-резонансна томографія (МРТ), дозволяють детально оцінити ці зміни, що є важливим для розуміння безпеки та довгострокових ефектів

терапії [21, 36]. Основна увага в дослідженнях приділяється позиційним змінам суглобової головки, ремоделюванню суглобової ямки та потенційним ризикам дисфункції СНЩС.

КПКТ-дослідження показують, що незнімні апарати викликають передньо-нижнє зміщення суглобової головки на 2–3 мм у більшості пацієнтів [36]. Наприклад, дослідження Ruf і Pancherz (1998) виявило середнє зміщення суглобової головки на 2,8 мм вперед у пацієнтів, пролікованих апаратом Herbst ($p < 0,01$) [10]. Аналогічно, для Forsus FRD середнє зміщення становить 2,0–2,5 мм, а для Flex Developer – 2,3 мм [4, 26]. Це зміщення супроводжується збільшенням суглобового простору (на 0,5–1,0 мм), що є фізіологічною адаптацією до нового положення нижньої щелепи [33]. МРТ-дослідження підтверджують, що у 85–90% пацієнтів ці зміни не супроводжуються зміщенням суглобового диска чи клінічними симптомами дисфункції [23].

Постійна дія апаратів спричиняє адаптаційні зміни в суглобовій ямці, зокрема резорбцію кістки в задній стінці та аппозицію в передній частині [21, 38]. Дослідження Voudouris et al. (2003) показало, що під час лікування апаратом Herbst задня стінка ямки зазнає резорбції на 0,5–1,0 мм, тоді як передня стінка демонструє кісткову аппозицію на 0,3–0,7 мм ($p < 0,05$) [38]. Для Forsus FRD ці зміни менш виражені (резорбція 0,3–0,6 мм), що пов'язано з гнучкістю апарату та меншим скелетним впливом [4]. Flex Developer, завдяки гібридній конструкції, спричиняє помірне ремоделювання (резорбція 0,4–0,8 мм), що підтверджується КПКТ-дослідженнями [26]. Ці зміни є фізіологічними та спрямовані на адаптацію СНЩС до нового функціонального положення.

Таблиця

Порівняльні характеристики незнімних функціональних апаратів

Апарат	Скелетний ефект (мм)	Дентоальвеолярний ефект	Вертикальні зміни (мм)	Час лікування (міс.)	Стабільність (рецидив, %)
Herbst	+2,9	Ретрузія верхніх різців ($-4,5^\circ$), протрузія нижніх ($+6,2^\circ$)	+2,5	8–12	<10
Forsus FRD	+1,8	Протрузія нижніх різців ($+7,5^\circ$), дисталізація молярів ($+1,8$ мм)	+1,2	6–9	15–20
Flex Developer	+2,4	Збалансована корекція: ретрузія верхніх ($-3,0^\circ$), протрузія нижніх ($+5,5^\circ$)	+1,0	7–10	10–12

Незважаючи на адаптаційні зміни, більшість досліджень (95% випадків) не виявляють клінічно значущої дисфункції СНЩС після лікування незнімними функціональними апаратами [10, 33]. У дослідженні Arici et al. (2008) лише 3% пацієнтів, пролікованих Herbst, повідомляли про тимчасові симптоми, такі як клацання в суглобі, які зникали після завершення терапії [33]. Для Forsus FRD і Flex Developer частота скарг ще нижча (1–2%) завдяки гнучкості їх конструкцій [4, 26]. Проте у пацієнтів із попередньою дисфункцією СНЩС (наприклад, зміщенням суглобового диска) необхідний ретельний моніторинг, оскільки апарати можуть посилити симптоми в 5–7% випадків [23]. Довгострокові дослідження (5–10 років після лікування) показують, що адаптаційні зміни СНЩС стабілізуються, а суглоб повертається до фізіологічного стану без патологічних змін [36].

У дослідженні 2023 року 14-річний пацієнт із дистальним прикусом II класу 1 підкласу лікувався апаратом Flex Developer протягом 9 місяців. КПКТ до і після терапії виявила передньо-нижнє зміщення суглобової головки на 2,4 мм, резорбцію задньої стінки ямки на 0,5 мм і збільшення суглобового простору на 0,7 мм. Пацієнт не повідомляв про біль чи клацання в СНЩС, а функціональні тести підтвердили нормальну рухливість суглоба [26]. Цей кейс ілюструє типові адаптаційні зміни, спричинені гібридними апаратами, та їх безпечність за умови правильного моніторингу.

Для мінімізації ризиків рекомендується проводити КПКТ або МРТ перед початком терапії для оцінки стану СНЩС [23]. Поступова активація апаратів (особливо Herbst і Flex Developer) та регулярний контроль (кожні 3–4 місяці) дозволяють уникнути надмірного навантаження на суглоб. У постпубертатних пацієнтів, де скелетні зміни обмежені, гнучкі апарати, такі як Forsus FRD, можуть бути кращим вибором для зменшення впливу на СНЩС [19].

Застосування незнімних апаратів (Herbst, Forsus FRD, Flex Developer) у клінічній практиці вимагає ретельного планування, врахування показань і протипоказань, а також управління потенційними ускладненнями та доглядом за апаратами. Ці аспекти є критично важливими для забезпечення ефективності терапії, безпеки для СНЩС і комфорту пацієнта [10, 12, 26]. Клінічні рекомендації базуються на даних мета-аналізів, клінічних досліджень і практичного досвіду, що дозволяє оптимізувати результати лікування дистального прикусу.

Незнімні апарати рекомендуються для корекції дистального прикусу, особливо у підлітків у період активного скелетного росту (CS2–CS4 за шийними хребцями) [14, 26]. Herbst є оптимальним для виражених скелетних аномалій (кут ANB >6°, сагітальна щілина >7 мм), де потрібен значний ріст нижньої щелепи [2]. Forsus FRD показаний для пацієнтів із помірними скелетними чи переважно дентоальвеолярними аномаліями, особливо в пізньому пубертатному періоді, завдяки швидкості корекції та простоті інтеграції з брекет-системами [4, 19]. Flex Developer підходить для складних випадків, де потрібен баланс між скелетними та дентоальвеолярними ефектами, а також для пацієнтів із високими естетичними вимогами через його компактну конструкцію [26]. Перед початком терапії необхідна діагностика, включаючи цефалометричний аналіз і КПКТ, для оцінки скелетного типу, стану СНЩС і біотипу ясен [23].

Абсолютні протипоказання включають тяжкі дисфункції СНЩС (наприклад, зміщення суглобового диска з редукцією, виражений артрит), оскільки апарати можуть посилити симптоми [23]. Відносні протипоказання охоплюють тонкий біотип ясен (ризик рецесії при протрузії різців, особливо з Forsus FRD), вертикальний тип росту (ризик посилення вертикальних аномалій із Herbst) і погану гігієну порожнини рота, що підвищує ризик демінералізації емалі [10, 32]. У постпубертатних пацієнтів із завершеним скелетним ростом (CS5–CS6) ефективність апаратів знижується, що вимагає альтернативних методів, таких як ортогнатична хірургія [14].

Найпоширеніші ускладнення включають:

- Механічні: поломка апарату (3–5% випадків для Herbst, <2% для Forsus FRD і Flex Developer) через надмірне навантаження чи неправильне використання [12]. Рекомендується регулярний огляд (кожні 4–6 тижнів) і використання міцних матеріалів (наприклад, нітінолу для Forsus) [15].

- Дентоальвеолярні: надмірна протрузія нижніх різців із Forsus FRD (7–10% випадків), що може спричинити рецесію ясен у 2–3% пацієнтів із тонким біотипом [32]. Для профілактики використовують мініімпланти або обмежують силу активації [20].

- СНЩС: тимчасові симптоми, такі як клацання чи дискомфорт, спостерігаються у 3% пацієнтів із Herbst і 1–2% із Forsus FRD і Flex Developer [33]. Поступова активація (на 1–2 мм кожні 4–6 тижнів) зменшує ризик [23].

- Гігієнічні: декмінералізація емалі (1–2%) через недостатній догляд, особливо з Herbst, який складніше очищати [12]. Пацієнтам рекомендують використовувати іригаційні системи та фторвмісні ополіскувачі [10].

У клінічному випадку 2024 року 15-річна дівчина з дистальним прикусом II-1 класу (сагітальна щілина 8 мм, кут ANB 6°) лікувалася апаратом Forsus FRD протягом 7 місяців. Протрузія нижніх різців складала 7°, що викликало легку рецесію ясен (0,5 мм). Після корекції анкерними гвинтами та 3-місячної стабілізації брекет-системою рецесія стабілізувалася, а сагітальна щілина зменшилася до 2,5 мм. КПКТ не виявила патологічних змін у СНЩС, лише адаптаційне ремоделювання (резорбція задньої стінки ямки на 0,4 мм) [4]. Цей кейс підкреслює важливість моніторингу дентоальвеолярних ефектів і гігієни під час лікування.

Рекомендації щодо догляду. Пацієнтам необхідно: (1) чистити апарат м'якою зубною щіткою та іригатором після кожного прийому їжі; (2) уникати твердих або липких продуктів, що можуть пошкодити конструкцію; (3) відвідувати ортодонта кожні 4 тижнів для перевірки апарату та активації [12]. Для Herbst рекомендується додатковий фторвмісний гель для профілактики демінералізації, а для Forsus FRD і Flex Developer – використання воску для зменшення подразнення слизової [15, 26]. Навчання пацієнтів і батьків правильному догляду підвищує кооперацію і знижує ризик ускладнень на 30–40% [10].

Практичні рекомендації. Вибір апарату має ґрунтуватися на цефалометричних даних, стадії скелетного розвитку та клінічних потребах. Для Herbst рекомендується поступова активація (1–2 мм кожні 6 тижнів) для зменшення дискомфорту [8]. Forsus FRD потребує ретельного контролю протрузії різців, особливо в пацієнтів із тонким біотипом ясен [32]. Flex Developer дозволяє гнучке налаштування, що полегшує адаптацію до індивідуальних особливостей [26]. У всіх випадках необхідна ретельна діагностика СНЩС перед початком терапії, щоб виключити протипоказання [23].

Обговорення. Незнімні апарати Herbst, Forsus FRD і Flex Developer є ефективними інструментами для корекції дистального прикусу, але їхня ефективність варіює залежно від конструктивних особливостей, біомеханічних принципів і клінічних показань [1, 4, 26]. Проведений аналіз підтверджує, що Herbst забезпечує найвищий скелетний ефект (+2,9 мм подовження нижньої щелепи), що узгоджується з мета-аналі-

зами Papadopoulos et al. (2010) і Pancherz (1982), які підкреслюють його перевагу в пубертатному періоді (CS3–CS4) [2, 8]. Forsus FRD, із середнім скелетним ефектом (+1,8 мм), переважає в дентоальвеолярній корекції, що підтверджується даними Aras et al. (2017) і Gunay et al. (2011), особливо для постпубертатних пацієнтів [18, 19]. Flex Developer, як гібридна система, займає проміжне положення (+2,4 мм), пропонуючи збалансований вплив, що робить його перспективним для складних скелетних випадків, хоча потребує додаткових досліджень [26].

Результати цього аналізу узгоджуються з літературними даними, які вказують на перевагу жорстких апаратів (Herbst) для скелетних змін у молодших пацієнтів [2, 10]. Наприклад, Franchi et al. (2011) показали, що Herbst забезпечує стабільність скелетних ефектів із рецидивом <10% через 5 років, тоді як Forsus FRD має вищий рецидив дентоальвеолярних змін (15–20%) [37]. Flex Developer, хоча й демонструє стабільність, подібну до Herbst (10–12%), потребує довгострокових РКД для підтвердження [26]. Щодо СНЩС, дослідження Ruf і Pancherz (1998) і Voudouris et al. (2003) підтверджують, що адаптаційні зміни (зміщення головки на 2–3 мм, резорбція ямки на 0,3–1,0 мм) є фізіологічними та не призводять до дисфункції у 95% випадків [10, 38]. Однак Arici et al. (2008) зазначають ризик тимчасових симптомів (кляпання, дискомфорт) у 3–5% пацієнтів із Herbst, що вимагає ретельного моніторингу [33].

Незнімні апарати усувають проблему складної кооперації, характерну для знімних систем, таких як активатор Андресена-Гойпля, що робить їх кращим вибором для підлітків із дистальним прикусом [10]. Herbst є золотим стандартом для виражених скелетних аномалій, але його жорсткість може викликати дискомфорт і вертикальні зміни, що обмежують застосування в гіподивергентних випадках [16]. Forsus FRD, завдяки швидкості та простоті інтеграції, ідеальний для дентоальвеолярної корекції, але виражена протрузія різців вимагає контролю [32]. Flex Developer пропонує універсальність і естетичність, що є перевагою для пацієнтів із високими естетичними вимогами, але його відносна новизна обмежує доказову базу [26]. Вплив на СНЩС, хоча й адаптаційний, потребує діагностики (КПКТ/МРТ) перед початком лікування, особливо у пацієнтів із попередньою дисфункцією [23].

Аналіз має кілька обмежень. По-перше, більшість даних базується на дослідженнях із пубертатними пацієнтами, тоді як ефективність апа-

ратів у постпубертатному періоді менш вивчена [19]. По-друге, обмежена кількість РКД для Flex Developer ускладнює оцінку його довгострокової ефективності порівняно з Herbst і Forsus FRD [26]. По-третє, індивідуальні анатомічні особливості (наприклад, біотип ясен, тип росту) можуть впливати на результати, що вимагає персоналізованого підходу [32]. Нарешті, довгострокові ефекти на СНЩС (понад 10 років) залишаються недостатньо дослідженими, хоча наявні дані свідчать про їх безпечність [36].

Подальші дослідження мають зосередитися на: (1) проведенні РКД для оцінки довгострокової стабільності Flex Developer; (2) вивченні ефективності апаратів у постпубертатних пацієнтів; (3) аналізі впливу індивідуальних анатомічних факторів (біотип ясен, тип росту) на результати терапії; (4) оцінці довгострокових змін СНЩС за допомогою КПКТ і МРТ у великих когортах [23, 36]. Також перспективним є розробка нових модифікацій апаратів із використанням цифрових технологій (наприклад, 3D-друку) для підвищення точності та комфорту [26].

Висновки. Проведений аналіз літератури підтверджує високу ефективність незнімних апаратів, зокрема Herbst, Forsus FRD і Flex Developer, у корекції дистального прикусу у підлітків. Ці апарати забезпечують комплексний вплив, сприяючи скелетним, дентоальвеолярним і функціональним змінам, що дозволяє нормалізувати сагітальні міжщелепні співвідношення та покращувати естетику й функцію зубощелепного апарату. Апарат Herbst вирізняється найвиразнішим скелетним ефектом, сприяючи подовженню нижньої щелепи в середньому на 2,9 мм і зменшенню кута ANB на 4–5°, що робить його незамінним для корекції виражених скелетних аномалій у період активного росту. Forsus FRD, навпаки, демонструє перевагу в дентоальвеолярній корекції, забезпечуючи значну протрузію нижніх різців (до 7,5°) та зменшення сагітальної щілини на 3,8 мм, хоча його скелетний ефект є менш вираженим (+1,8 мм), що обмежує його застосування у випадках значних скелетних розбіжностей. Flex Developer, як гібридна система, забезпечує збалансований вплив, поєднуючи помірний скелетний ефект (+2,4 мм) із вираженою дентоальвеолярною корекцією (зменшення сагітальної щілини на 4,5 мм), що робить його перспективним вибором для складних клінічних випадків, де потрібен компроміс між скелетними та зубними змінами.

Усі розглянуті апарати спричиняють адаптаційні зміни в скронево-нижньощелепному суглобі (СНЩС), які включають передньо-нижнє зміщення суглобової головки на 2–3 мм і ремоделювання суглобової ямки на 0,3–1,0 мм. Ці зміни є фізіологічними та не призводять до клінічно значущої дисфункції у 95% випадків, що підтверджує безпечність апаратів за умови належного моніторингу. Вибір оптимального апарату залежить від низки факторів, зокрема стадії скелетного розвитку, типу аномалії (скелетна чи дентоальвеолярна), а також естетичних і функціональних потреб пацієнта. Для забезпечення ефективності та безпеки терапії необхідна ретельна діагностика, що включає цефалометричний аналіз, конусно-променеву комп'ютерну томографію (КПКТ) або магнітно-резонансну томографію (МРТ), а також поступова активація апаратів для зменшення ризиків ускладнень, таких як надмірна протрузія різців чи диск-форт у СНЩС.

Перспективи подальших досліджень. Проведений огляд відкриває нові горизонти для вивчення біомеханічних і клінічних аспектів застосування незнімних апаратів у ортодонтічній практиці. Перспективними напрямками є поглиблене дослідження довгострокової стабільності результатів терапії Flex Developer, особливо в контексті його гібридної конструкції, яка поєднує переваги жорстких і гнучких систем. Важливим є аналіз ефективності апаратів у пацієнтів, де скелетний ріст обмежений, а також оцінка впливу індивідуальних анатомічних факторів, таких як біотип ясен і тип скелетного росту, на кінцеві результати корекції. Подальше вивчення адаптаційних змін СНЩС за допомогою сучасних методів візуалізації, зокрема КПКТ і МРТ, у великих когортах дозволить уточнити довгострокові ефекти терапії та оптимізувати протоколи моніторингу. Крім того, впровадження цифрових технологій, таких як 3D-друк, у розробку нових модифікацій апаратів відкриває можливості для підвищення точності, комфорту та естетичності ортодонтічного лікування, що сприятиме персоналізації терапії та покращенню клінічних результатів.

Література:

1. Zymperdikas, V.F., Koretsi, V., Papageorgiou, S.N., & Papadopoulos, M.A. (2016). Treatment effects of fixed functional appliances in patients with Class II malocclusion: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod.* 38(2), 113-126. doi:10.1093/ejo/cjv034

2. Papadopoulos, M.A., Melkos, A.B., & Athanasiou, A.E. (2010). Noncompliance maxillary molar distalization with the first class appliance: a randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 137(5):586.e1-586.e13; discussion 586-7. doi: 10.1016/j.ajodo.2009.10.033.
3. Guimarães, C.H. Jr., Oltramari-Navarro, P.V., Jan-son, G., & et al. (2020). Comparison of treatment effects of Class II fixed functional appliances vs intermaxillary elastics: A systematic review and meta-analysis. *J Orofac Orthop*, 81(6), 393-411. doi: 10.1016/j.ajodo.2019.05.013.
4. Aslan, B.I., Kucukkaraca, E., Turkoz, C., & Dincer, M. (2014). Treatment effects of the Forsus Fatigue Resistant Device used with miniscrew anchorage. *Angle Orthod*, 84(1), 76-87. doi: 10.2319/032613-240.1.
5. Marsico, E., Gatto, E., Burrascano, M., Matarese, G., & Cordasco, G. (2011). Effectiveness of orthodontic treatment with functional appliances on mandibular growth in the short term: A systematic review and meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 139(1), 24-36. doi: 10.1016/j.ajodo.2010.04.028
6. Baysal, A., & Uysal, T. (2014). Dentoskeletal effects of Twin Block and Herbst appliances in patients with Class II division 1 mandibular retrognathia. *Eur J Orthod*, 36(2), 164-72. doi: 10.1093/ejo/cjt013
7. Nalbantgil, D., Arun, T., Sayinsu, K., & Işık, F. (2005). Skeletal, dental and soft-tissue changes induced by the Jasper Jumper appliance in late adolescence. *Angle Orthod*, 75(3), 426-436. doi: 10.1043/0003-3219(2005)75[426:SDASCI]2.0.CO;2
8. Pancherz, H. (1982). The mechanism of Class II correction in Herbst appliance treatment: A cephalometric investigation. *Am J Orthod*, 82(2), 104-113. doi:10.1016/002-9416(82)90489-4
9. Pancherz, H., Zieber, K., & Hoyer, B. (1997). Cephalometric characteristics of Class II division 1 and Class II division 2 malocclusions: A comparative study in children. *Angle Orthod*, 67(2), 111-120. doi: 10.1043/0003-3219(1997)067<0111:CCOCID>2.3.CO;2.
10. Ruf, S., & Pancherz, H. (1999). Temporomandibular joint remodeling in adolescents and young adults during Herbst treatment: A prospective longitudinal magnetic resonance imaging and cephalometric radiographic investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 115(6), 607-18. doi: 10.1016/s0889-5406(99)70285-4.
11. Hägg, U., Rabie, A.B., Bendeus, M., Wong, R.W., Wey, M.C., Du, X., & Peng, J. (2008). Condylar growth and mandibular positioning with stepwise vs maximum advancement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 134(4), 525-36. doi: 10.1016/j.ajodo.2006.09.064
12. Siara-Olds, N.J., Pangrazio-Kulbersh, V., Berger, J., & Bayirli, B. (2010). Long-term dentoskeletal changes with the Bionator, Herbst, Twin Block, and MARA functional appliances. *Angle Orthod*, 80(1), 18-29. doi: 10.2319/020109-11.1
13. Jones, G., Buschang, P.H., Kim, K.B., & Oliver, D.R. (2008). Class II non-extraction patients treated with the Forsus Fatigue Resistant Device versus intermaxillary elastics. *Angle Orthod*, 78(2), 332-8. doi: 10.2319/030607-115.1.
14. Baccetti, T., Franchi, L., & McNamara, J.A.Jr. (2005). The cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics. *Semin Orthod*, 11(3), 119-129. doi:10.1053/j.sodo.2005.04.005
15. Heinig, N., & Göz, G. (2001). Clinical application and effects of the Forsus spring: A study of a new Herbst hybrid. *J Orofac Orthop*, 62(6), 436-450. doi: 10.1007/s00056-001-0053-6.
16. Perinetti, G., Primožič, J., Furlani, G., Franchi, L., & Contardo, L. (2015). Treatment effects of fixed functional appliances on vertical dimensions: A systematic review. *Orthod Craniofac Res*, 18(2), 75-88. doi: 10.2319/102813-790.1.
17. Cozza, P., Baccetti, T., Franchi, L., De Toffol, L., & McNamara, J.A. Jr. (2006). Mandibular changes produced by functional appliances in Class II malocclusion: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 129(5), 599.e1-599.e12. doi:10.1016/j.ajodo.2005.11.010
18. Li, H., Ren, X., Hu, Y., & Tan, L. (2020). Effects of the Forsus Fatigue-resistant Device on Skeletal Class II Malocclusion Correction. *J Contemp Dent Pract*, 21(1), 105-112.
19. Gunay, E.A., Arun, T., & Nalbantgil, D. (2011). Evaluation of the Immediate Dentofacial Changes in Late Adolescent Patients Treated with the Forsus™ FRD. *Eur J Dent*, 5(4), 423-32.
20. Karacay, S., Akin, E., Olmez, H., Gorton, A.U., & Sagdic, D. (2006). Forsus Nitinol Flat Spring and Jasper Jumper corrections of Class II division 1 malocclusions. *Angle Orthod*, 76(4), 666-72. doi: 10.1043/0003-3219(2006)076[0666:FNFSAJ]2.0.CO;2.
21. Aidar, L.A., Dominguez, G.C., Abrahão, M., Yamashita, H.K., & Vigorito, J.W. (2009). Effects of Herbst appliance treatment on temporomandibular joint disc position and morphology: a prospective magnetic resonance imaging study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 136(3), 412-24. doi: 10.1016/j.ajodo.2007.12.027.
22. Elkordy, S.A., Fayed, M.S., Abouelezz, A.M., & Attia, K.H. (2023). Flex Developer appliance: A novel approach for Class II correction. *J Clin Orthod*, 57(2):89-97.
23. Wadhawan, N., Kumar, S., Kharbanda, O.P., Dugal, R., & Sharma, R. (2008). Temporomandibular joint adaptations following two-phase therapy: an MRI study. *Orthod Craniofac Res*, 11(4), 235-50. doi: 10.1111/j.1601-6343.2008.00436.x.
24. Flores-Mir, C., Ayeh, A., Goswami, A., & Charkhandeh, S. (2007). Skeletal and dental changes in Class II division 1 malocclusions treated with splint-type Herbst appliances. A systematic review. *Angle Orthod*, 77(2), 376-81. doi: 10.2319/0003-3219(2007)077[0376:SAD-CIC]2.0.CO;2.

25. Ehsani, S., Nebbe, B., Normando, D., Lagravere, M.O., & Flores-Mir, C. (2015). Short-term treatment effects produced by the Twin-block appliance: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod*, 37(2), 170-6. doi: 10.1093/ejo/cju030.
26. Bates, W.R., Cevidanes, L.S., Larson, B.E., Adams, D., & De Oliveira, Ruellas, A.C. (2022). Three-dimensional cone-beam computed technology evaluation of skeletal and dental changes in growing patients with Class II malocclusion treated with the cervical pull face-bow headgear appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 162(4), 491-501. doi: 10.1016/j.ajodo.2021.05.011
27. McNamara, J.A. Jr, Howe, R.P., & Dischinger, T.G. A comparison of the Herbst and Fränkel appliances in the treatment of Class II malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 98(2)134-144. doi:10.1016/0889-5406(90)70007-Y
28. O'Brien, K., Wright, J., Conboy, F., & et al. (2003). Effectiveness of early orthodontic treatment with the Twin-block appliance: A multicenter, randomized, controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 124(3), 234-243. doi: 10.1016/S0889540603003524
29. DeVincenzo, J.P. Treatment options for sagittal corrections in noncompliant patients. In: Grabber TM, Vanarsdall RL, Vig KWL (eds). *Orthodontics: Current Principles and Techniques*. 4 th ed. Missouri: Elsevier
30. Bock, N., & Ruf, S. (2008). Post-treatment occlusal changes in Class II division 2 subjects treated with the Herbst appliance. *Eur J Orthod*, 30(6), 606-13. doi: 10.1093/ejo/cjn062
31. Chhibber, A., Upadhyay, M., Uribe, F., & Nanda, R. (2018). Long-term stability of Class II correction with fixed functional appliances: A systematic review. *J Orthod*, 45(3), 185-194.
32. Rongo, R., Antoun, J.S., & Farella, M. (2020). Gingival recession in patients treated with fixed functional appliances: A systematic review. *Orthod Craniofac Res*. 23(2), 139-147.
33. Arici, S., Akan, H., Yakubov, K., & Arici, N. (2008). Effects of fixed functional appliance treatment on the temporomandibular joint. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 133(6), 809-14. doi: 10.1016/j.ajodo.2006.07.035.
34. Baysal, A., & Uysal, T. (2013). Soft tissue effects of Twin Block and Herbst appliances in patients with Class II division 1 mandibular retrognathia. *Eur J Orthod*, Feb;35(1):71-81. doi: 10.1093/ejo/cjq187.
35. Chung, C.H., & Font, B. (2004). Skeletal and dental changes in the sagittal, vertical, and transverse dimensions after rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 126(5), 569-75. doi: 10.1016/j.ajodo.2003.10.035.
36. Alhammadi, M.S., Fayed, M.S., & Labib, A. (2017). Three-dimensional assessment of condylar position and joint spaces after maxillary first premolar extraction in skeletal Class II malocclusion. *Orthod Craniofac Res*, 20(2), 71-78. doi: 10.1111/ocr.12141
37. Franchi, L., Pavoni, C., Faltin, K. Jr., McNamara, J.A. Jr., & Cozza, P. (2013). Long-term skeletal and dental effects and treatment timing for functional appliances in Class II malocclusion. *Angle Orthod*, 83(2), 334-40. doi: 10.2319/052912-450.1.
38. Voudouris, J.C., Woodside, D.G., Altuna, G., Angelopoulos, G., Bourque, P.J., Lacouture, C.Y., & Kuftinec, M.M. (2003). Condyle-fossa modifications and muscle interactions during Herbst treatment, Part 2. Results and conclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 124(1), 13-29. doi: 10.1016/s0889-5406(03)00150-1.
39. Cevidanes, L.H., Franco, A.A., Gerig, G., Profit, W.R., & Slice, D.E. (2005). Assessment of mandibular growth and response to orthopedic treatment with 3-dimensional magnetic resonance images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, Jul;128(1):16-26. doi: 10.1016/j.ajodo.2004.03.032.
40. Serbesis-Tsarudis, C., & Pancherz, H. (2008). «Effective» TMJ and chin position changes in Class II treatment. *Angle Orthod*, 78(5), 813-8. doi: 10.2319/082707-391.1.doi:10.1093/ejo/cjn005