

Елайнери в сучасній ортодонтії: порівняльний аналіз технологічних характеристик та клінічної ефективності (огляд)

УДК 616.314-76:621.9:616.314-74(048.34)

Мехмані Ільхам Гасанага

ID 0009-0003-2072-7944

**Мехмані Вусала Расім
Ашрафов Давуд Сергей**

ID 0009-0001-8824-6464

Керімова Гуляра Ельхан**Азербайджанський
медичний університет,
Баку, Азербайджан****Ключові слова:***ортодонтія; елайнер;
брекет-система; 3D-друк;
ортодонтичні конструкції***Mehmani Ilham Gasanaga**

ID 0009-0003-2072-7944

**Mehmani Vusala Rasim
Ashrafov Davud Sergey**

ID 0009-0001-8824-6464

Kerimova Gulyara Elhan**Azerbaijan
Medical University,
Baku, Azerbaijan****Keywords:***orthodontics; clear aligner;
brace system; 3D printing;
orthodontic appliances*Стаття опублікована на умовах
відкритого доступу за ліцензією
CC BY-NC.**Анотація**

Протягом останнього десятиліття елайнери — знімні термопластичні конструкції — перетворилися на повноцінну альтернативу традиційним брекет-системам. Їхня робота базується на програмованому тиску, що забезпечує точне переміщення зубів у правильне положення. Сучасні технології виробництва дозволяють створювати персоналізовані системи вирівнювання з повним контролем над товщиною матеріалу, площею покриття та типом кріплень.

Мета дослідження: систематизувати методи моделювання знімних ортодонтичних елайнерів та провести порівняльний аналіз сучасних технологій їх виробництва.

Результати. Аналіз засвідчив, що ключовою перевагою елайнерів є висока естетичність завдяки їхній візуальній непомітності. Знімна конструкція забезпечує пацієнту можливість безперешкодно підтримувати гігієну ротової порожнини. Завдяки відсутності металевих чи керамічних елементів мінімізується ризик механічного пошкодження емалі та травмування слизової оболонки. Використання м'яких біосумісних атачментів (фіксуючих елементів) замість жорстких замків сприяє швидкій адаптації та високому рівню комфорту під час носіння.

До основних обмежень методу належить недостатня ефективність елайнерів при корекції складних скелетних аномалій оклюзії (зокрема, за наявності значних діастем або множинних трем). Окрім функціональних лімітів, стримуючим фактором для широкого впровадження залишається висока собівартість технологічного процесу та, як наслідок, кінцева ціна лікування.

Висновок. Застосування елайнерів у сучасній ортодонтії дозволяє ефективно корегувати оклюзійні порушення, забезпечуючи пацієнту безпрецедентний рівень комфорту. Завдяки поєднанню високої естетики, біосумісності та прогнозованої результатів, дана технологія має значний потенціал для подальшого розвитку та широкої інтеграції в щоденну стоматологічну практику.

Clear Aligners in Modern Orthodontics: A Comparative Analysis of Technological Characteristics and Clinical Efficacy (Review)

Abstract

Introduction. Over the last decade, clear aligners—removable thermoplastic structures—have evolved into a comprehensive alternative to traditional fixed brace systems. Their function is based on programmed pressure, which ensures precise tooth movement into the desired position. Modern manufacturing technologies allow for the creation of personalized alignment systems with full control over material thickness, coverage area, and attachment types.

The aim of the study is to systematize the modeling methods for removable orthodontic aligners and to conduct a comparative analysis of modern technologies used in their production.

Results. The analysis demonstrated that a key advantage of aligners is their high aesthetic appeal, given their visual invisibility. The removable nature of the appliance allows patients to maintain oral hygiene without obstruction. Since there are no metal or ceramic components, the risk of mechanical damage to the enamel and trauma to the oral mucosa is minimized. The use of soft, biocompatible attachments (fixing elements) instead of rigid brackets promotes rapid adaptation and high comfort during wear.

Conversely, the primary limitation of the method is the limited efficacy of aligners in correcting complex skeletal occlusal anomalies (specifically in cases involving significant diastemas or multiple tremas). In addition to functional limits, the high cost of the technological process—and, consequently, the final treatment price—remains a significant deterrent to widespread implementation.

Conclusion. The use of aligners in modern orthodontics enables effective correction of occlusal disturbances while providing patients with unprecedented comfort. Due to its combination of high aesthetics, biocompatibility, and predictable results, this technology holds significant potential for further development and broad integration into daily dental practice.

Вступ

Протягом останнього десятиліття знімні ортодонтичні термопластичні елайнери стали широко розповсюдженою альтернативою традиційним незнімним системам [1] та апаратам, призначеним для корекції аномалій прикусу, шляхом застосування сил, що забезпечують прогнозоване переміщення зубів. Традиційно клінічна практика базувалася на використанні незнімних конструкцій, що включають металеві дуги та брекети. Останнім часом, під впливом запиту на малоінвазивні альтернативи, біомедичні дослідження зосередилися на розробленні пристроїв, які поєднують ефективність корекції положення зубів із високим рівнем комфорту та естетики [2].

У сучасній ортодонтії спеціалісти все частіше віддають перевагу елайнерам, а не традиційним брекет-системам для корекції прикусу. Такий вибір ґрунтується на унікальних перевагах елайнерів: завдяки знімній конструкції їх легко знімати, що значно спрощує гігієну ротової порожнини; вони виготовляються індивідуально відповідно до анатомічних параметрів щелепи кожного пацієнта; завдяки своїй непомітності вони суттєво підвищують психологічний комфорт під час лікування. Ця практика стає дедалі поширенішою і дозволяє вирішувати проблеми великої кількості пацієнтів із діагнованими дисфункціями скронево-нижньощелепного суглоба (СНЩС), зумовленими його складною структурою та функціональністю. Водночас майже третина пацієнтів з ортодонтичними порушеннями потребують спеціалізованої допомоги, що передбачає використання специфічних ортодонтичних апаратів для корекції [3].

Отже, ортодонтичні елайнери являють собою високоестетичну альтернативу незнімним ортодонтичним апаратам, що робить їх надзвичайно популярними, особливо серед дорослих пацієнтів [4]. У цій оглядовій статті представлено результати досліджень іноземних фахів-

ців у галузі знімних ортодонтичних апаратів, що застосовуються для корекції, профілактики та лікування зубощелепних аномалій.

Мета: систематизувати методи моделювання знімних ортодонтичних елайнерів та провести порівняльний аналіз сучасних технологій їх виробництва.

На сьогодні ортодонтія наближається до четвертого етапу свого розвитку з моменту виокремлення в самостійну стоматологічну спеціальність на початку 1900-х років. У той період лікування аномалій прикусу здійснювалося за допомогою металевих кілець, що цементувалися до зубів і слугували опорою для дуг, які створювали корегувальні зусилля.

До 1970-х років ортодонтична галузь відзначилася впровадженням стандартизованих брекетів, виготовлених із прозорих або напівпрозорих неметалевих матеріалів — важливою віхою, що засвідчила значний прогрес дисципліни. Цьому досягненню передував серйозний прорив 1960-х років, коли було представлено перші брекет-системи з використанням нержавіючої сталі для фіксації дуг. Ці системи виділялися своїми перевагами: високою міцністю, довговічністю, зменшеним тертям між компонентами, покращеним дренажем слини, меншим накопиченням залишків їжі, а також відносною легкістю обробки та моделювання [5].

Перші прозорі брекети, виготовлені з ненаповненого полікарбонату, згодом були замінені посиленними версіями з використанням кераміки, скловолокна або полікарбонатних матеріалів із металевим пазом для мінімізації пластичної деформації (повзучості) [6]. Згодом було впроваджено керамічні брекети, виготовлені з монокристалічного сапфіра та полікристалічної кераміки; проте через високу твердість цих матеріалів могло виникати стирання емалі.

Зрештою, традиційні сталеві дуги були замінені вдосконаленими матеріалами — від Optiflex із прозорими волокнами до різних ти-

пів дуг, оброблених унікальними покриттями, як-от тефлон, епоксидна смола, інноваційний титановий пластик та Bioforce [7].

У недавньому минулому — на зламі минулого та теперішнього століть — в ортодонтії спостерігалася поява елайнерів. Цей етап вважається ключовою віхою в еволюції сучасної ортодонтичної науки, що ознаменувала початок нової ери в цій галузі, яку часто називають «третьою ортодонтичною революцією» [8].

Елайнери, розроблені як прозорі знімні капи, призначені для корекції різноманітних порушень положення окремих зубів, а також усього зубного ряду та прикусу після його повного формування (постійного прикусу). Ці апарати сконструйовані таким чином, щоб створювати контрольований тиск на зуби, вирівнюючи їх та усуваючи аномалії оклюзії [9].

Прозорі елайнери — це виготовлені на індивідуальне замовлення знімні апарати, призначені для ефективного комплексного естетичного ортодонтичного лікування аномалій прикусу легкого та середнього ступенів тяжкості [8]. Апарат забезпечує поступове переміщення зубів за допомогою послідовних наборів пластикових кап, які пацієнт носить і змінює через певні проміжки часу протягом усього періоду лікування [3].

У дослідженні С. Бароне та співавт. була розроблена система для конкретного пацієнта з метою симуляції ортодонтичного переміщення зубів за допомогою пластикових елайнерів. Реконструкція верхньої та нижньої зубних дуг проводилася з використанням комбінації оптичних та радіографічних методів. Після цього було створено модель кінцевих елементів (МКЕ) для аналізу двох різних конфігурацій елайнерів. Таким чином, автори дослідили вплив нерівномірної товщини капі та початкового індивідуального зміщення між елайнером і зубами пацієнта [10].

У 1998 р. американська компанія Align Technology представила світові систему Invisalign — серію прозорих ортодонтичних кап. Ці апарати відрізняються від традиційних брекетів тим, що їх можна знімати в разі потреби, наприклад, під час прийому їжі або гігієни порожнини рота, що робить їх особливо привабливими завдяки естетичним перевагам. Капи накладаються безпосередньо на зуби для проведення корекції без використання додаткових фіксуючих елементів (у класичному розумінні), вимагаючи щоденного носіння з короткими перервами [9].

Геометрична відповідність та властивості матеріалу належать до ключових факторів, що впливають на ефективність апарата, які, своєю чергою, залежать від вибору матеріалу та методу виготовлення [7]. Як зазначають Р. Л. Бойд та співавт., з моменту їх впровадження у 1999 році, системи прозорих елайнерів, виготовлені з напівпрозорих термопластичних матеріалів із застосуванням технологій комп'ютерного сканування та візуалізації, стали усталеним методом лікування [8].

Основними перевагами використання елайнерів є їхня непомітність під час носіння — що робить їх надзвичайно привабливими з естетичної точки зору — та можливість самостійно й безперешкодно підтримувати гігієну ротової порожнини, оскільки їх можна легко зняти та одягнути знову.

Крім того, елайнери гарантують безпеку для слизової оболонки ротової порожнини та виключають ризик пошкодження емалі завдяки відсутності жорстких металевих або керамічних компонентів. Замість них використовуються м'які замки з біосумісного матеріалу (атачменти). Легкість адаптації та відсутність відчуття стороннього тіла в роті також вигідно вирізняють елайнери серед інших методів корекції зубів [3].

До недоліків елайнерів відносять їхню обмежену функціональність, оскільки вони не можуть бути використані для лікування пацієнтів із важкими аномаліями оклюзії (зокрема, у випадках зі значними діастемами або тремами), а також їхню відносно високу вартість [11]. Незважаючи на впровадження нових матеріалів та допоміжних компонентів в ортодонтію на базі елайнерів, переважна їх більшість досі виготовляється методом термоформування [5].

Висновок

Сучасний метод лікування аномалій оклюзії з використанням елайнерів дозволяє не лише ефективно корегувати порушення зубного ряду, а й забезпечувати ортодонтичне лікування, комфортне для пацієнта. У даному огляді було розглянуто матеріали, що використовуються для виготовлення елайнерів, а також методи моделювання та технології їх виробництва.

Хоч елайнери мають певні недоліки через обмеженість показань до застосування та високу вартість, вони водночас мають великі перспективи на майбутнє завдяки своїй простоті, практичності та характеристикам, орієнтованим на комфорт пацієнта.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Barone, S., Paoli, A., Razionale, A. V., & Savignano, R. (2016). *Modelling strategies for the advanced design of polymeric orthodontic aligners*. In: Fred, A., Gamboa, H., editors. Biomedical Engineering Systems and Technologies. BIOSTEC 2016. Communications in Computer and Information Science. Springer; Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-54717-6_5
2. Barone, S., Paoli, A., Razionale, A. V., & Savignano, R. (2017). Computational design and engineering of polymeric orthodontic aligners. *Int J Numer Method Biomed Eng*, 33(8):e2839. DOI: <https://doi.org/10.1002/cnm.2839>
3. Degtev, I. A., Kazumyan, S. V., Bilalova, F. A., et al. (2021). Materials for aligner thermoforming. *International Research Journal*, 4(106), 123–26.
4. Rosvall, M. D., Fields, H. W., Ziuchkovski, J., et al. (2009). Attractiveness, acceptability, and value of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Ortho*, 135(3), 276–277. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.09.020>
5. Zinelis, S., Eliades, T., Eliades, G., et al. (2005). Comparative assessment of the roughness, hardness, and wear resistance of aesthetic bracket materials. *Dent Mater*, 21, 890–894. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.03.007>
6. Dobrin, R. J., Kamel, I. L., & Musich, D. R. (1975). Load-deformation characteristics of polycarbonate orthodontic brackets. *Am J Orthod*, 67, 24–33. DOI: [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(75\)90126-8](https://doi.org/10.1016/0002-9416(75)90126-8)
7. Kaur, S., Singh, R., Soni, S., et al. (2008). Esthetic orthodontic appliances — A review. *Ann Geriatr Educ Med Sci*, 5, 11–14. DOI: <https://doi.org/10.18231/2348-7240.2018.0003>
8. Leonardi, R. (2019). Cone-beam computed tomography and three-dimensional orthodontics. Where we are and future perspectives. *J Orthod*, 46, 45–48. DOI: <https://doi.org/10.1177/1465312519840029>
9. Yassir, Y. A., Nabbat, S. A., McIntyre, G. T., & Bearn, D. R. (2022). Clinical effectiveness of clear aligner treatment compared to fixed appliance treatment: an overview of systematic reviews. *Clin Oral Investig*, 26(3), 2353–2370. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04361-1>
10. Upadhyay, M., & Arqub, S. A. (2022). Biomechanics of clear aligners: hidden truths & first principles. *J World Fed Orthod*, 11(1), 12–21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2021.11.002>
11. Boyd, R. L., Miller, R. J., & Vlaskalic, V. (2000). The invisalign system in adult orthodontics: mild crowding and space closure cases. *J Clin Orthod*, 34, 203–212. URL: https://www.jco-online.com/media/15898/jco_2000-04-203.pdf

Стаття надійшла до редакції 01.10.2025 р., прийнята до друку 16.12.2025 р.

Як цитувати / How to cite:

Мехмані І. Г., Мехмані В. Р., Ашрафов Д. С., Керімова Г. Е. (2025). Елайнери в сучасній ортодонції: порівняльний аналіз технологічних характеристик та клінічної ефективності (огляд). *Стоматологія. Медицина. Реабілітація*. 3–4(3): 34–37. DOI: <https://doi.org/10.64124/DMR-2025-3-4-5>

Mehmani, I. G., Mehmani, V. R., Ashrafov, D. S., & Kerimova, G. E. (2025). Clear Aligners in Modern Orthodontics: A Comparative Analysis of Technological Characteristics and Clinical Efficacy (Review). *Dentistry. Medicine. Rehabilitation*. 3-4(3): 34–37. DOI: <https://doi.org/10.64124/DMR-2025-3-4-5>