

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-1-154-164

УДК 616.314.2-089.23

АППАРАТЫ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧЕЛЮСТИ В ОРТОДОНТИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подоплелов Д. С.¹, Егорова М. В.¹, Догару А. М.¹, Хейгетян А. В.²,
Караммаева М. Р.², Харагезова Т. Р.², Бакиева Ф. И.¹

¹ *Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М. Ф. Владимирского, г. Москва, Россия*

² *Ростовский государственный медицинский университет Минздрава России, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация

Предмет исследования — закономерности изменения трансверзальных размеров верхней челюсти под воздействием ортодонтических аппаратов различных конструкций, а также эффективность применения цифровых технологий и современных материалов при планировании и проведении раннего ортодонтического вмешательства.

Цель — провести ретроспективный анализ исследований, посвященных ортодонтическим аппаратам для расширения верхней челюсти, и сопоставить показания, диагностические подходы и клинические эффекты различных конструкций.

Методология. Проведен ретроспективный аналитический обзор отечественных и зарубежных публикаций за последние 10 лет, посвященных методам расширения верхней челюсти. Анализировались съемные и несъемные аппараты с различными типами опоры (зубная, костная, комбинированная), а также диагностические подходы (клинические, лучевые методы, цифровое моделирование). Из первоначально отобранных 89 научных работ после критического анализа заголовков, аннотаций и полных текстов в соответствии с критериями исключения в итоговый синтез данных включено 35 публикаций, что позволило обобщить современные сведения об эффективности аппаратов и факторах выбора методики лечения.

Результаты. Анализ литературы показал, что эффективность расширения верхней челюсти в сменном прикусе зависит от степени выраженности аномалии. Съемные аппараты обеспечивают умеренный зубоальвеолярный эффект, тогда как несъемные экспандеры, особенно с костной опорой, позволяют достичь значительно большего скелетного расширения с минимальным риском рецидива. Применение дополнительных хирургических методик и цифровых технологий (3D-планирование, навигационные шаблоны) повышает точность и предсказуемость лечения, сокращая его сроки и улучшая функциональные результаты.

Выводы. Выбор расширяющего аппарата должен определяться возрастом и выраженностью скелетного компонента; комплексная диагностика повышает предсказуемость лечения; цифровое проектирование перспективно как инструмент стандартизации точности и воспроизводимости конструкции; требуется унификация критериев оценки стабильности результата в ретенционном периоде.

Ключевые слова: трансверзальная аномалия сужения верхней челюсти, расширение верхней челюсти, съемные расширяющие пластинки, несъемные небные расширители, аппараты с костной опорой, аппарат Хааса, цифровые 3D-технологии в ортодонтии

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Дмитрий Сергеевич ПОДОПЛЕЛОВ ORCID ID 0009-0005-6069-6331

Аспирант кафедры ортодонтии и детской стоматологии, Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М. Ф. Владимирского, г. Москва, Россия
7dimarus@gmail.com

Марина Вячеславовна ЕГОРОВА ORCID ID 0000-0001-9158-5136

к.м.н., заведующая кафедрой ортодонтии и детской стоматологии, Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М. Ф. Владимирского, г. Москва, Россия
maroeg71@gmail.com

Алла Михайловна ДОГАРУ ORCID ID 0009-0006-2648-4949

Ассистент кафедры ортодонтии и детской стоматологии, Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М. Ф. Владимирского, г. Москва, Россия
tonitza27@gmail.com

Артур Варздатович ХЕЙГЕТЯН ORCID ID 0000-0002-8222-4854

к.м.н., доцент, заведующий кафедрой стоматологии №1, Ростовский государственный медицинский университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
artur5953@yandex.ru

Марьян Рамазановна КАРАММАЕВА ORCID ID 0000-0002-3049-1643

к.м.н., доцент, доцент кафедры стоматологии №1, Ростовский государственный медицинский университет Минздрава России, г. Ростов-на-Дону, Россия
mtmrabadan@mail.ru

Татьяна Рубеновна ХАРАГЕЗОВА ORCID ID 0009-0007-5547-0295

ассистент кафедры стоматологии №1, Ростовский государственный медицинский университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
tanusha18hal@gmail.com

Фарида Имампашевна БАКИЕВА ORCID ID 0000-0002-0068-3089

ординатор кафедры ортодонтии и детской стоматологии, Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М. Ф. Владимирского, г. Москва, Россия
fora.1506@mail.ru

Адрес для переписки: Дмитрий Сергеевич ПОДОПЛЕЛОВ

424002, г. Йошкар-Ола, ул. Рябинина, д. 7б

+7 (987) 719-06-75

7dimarus@gmail.com

Образец цитирования:

Подоплелов Д. С., Егорова М. В., Догару А. М., Хейгетян А. В., Караммаева М. Р., Харатегзова Т. Р., Бакиева Ф. И.

АППАРАТЫ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧЕЛЮСТИ В ОРТОДОНТИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ. Проблемы стоматологии. 2026; 1: 154-164.

© Подоплелов Д. С. и др., 2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-1-154-164

Поступила 20.02.2026. Принята к печати 31.03.2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-1-154-164

APPLIANCES FOR MAXILLARY EXPANSION IN ORTHODONTIC PRACTICE: A RETROSPECTIVE ANALYSIS OF STUDIES

Podoplelov D.S.¹, Egorova M.V.¹, Dogaru A.M.¹, Kheygetyan A.V.²,
Karammaeva M.R.², Kharagezova T.R.², Bakieva F. I.¹

¹ Moscow Regional Research and Clinical Institute named after M. F. Vladimirsky, Moscow, Russia

² Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract

Subject. The patterns of changes in the transverse dimensions of the maxilla under the influence of orthodontic appliances of various designs, as well as the effectiveness of digital technologies and modern materials in the planning and implementation of early orthodontic intervention.

Objectives. To conduct a retrospective analysis of studies on orthodontic appliances for maxillary expansion and to compare the indications, diagnostic approaches, and clinical effects of different appliance designs.

Methodology. A retrospective analytical review of domestic and foreign publications over the past 10 years on maxillary expansion methods was performed. Removable and fixed appliances with various types of anchorage (dental, skeletal, combined) as well as diagnostic approaches (clinical, radiographic methods, digital modeling) were analyzed. From an initial pool of 89 scientific papers, after critical analysis of titles, abstracts, and full texts according to exclusion criteria, 35 publications were included in the final data synthesis, allowing for a summary of current evidence on appliance effectiveness and factors influencing treatment method selection.

Results. The literature analysis revealed that the effectiveness of maxillary expansion in the mixed dentition depends on the severity of the anomaly. Removable appliances provide a moderate dentoalveolar effect, whereas fixed expanders, particularly those with skeletal anchorage, achieve significantly greater skeletal expansion with minimal risk of relapse. The application of adjunctive surgical techniques and digital technologies (3D planning, navigation guides) increases treatment accuracy and predictability, reduces treatment duration, and improves functional outcomes.

Conclusion. The choice of expansion appliance should be determined by patient age and the severity of the skeletal component; comprehensive diagnostics enhance treatment predictability; digital design is promising as a tool for standardizing accuracy and reproducibility of appliances; unification of criteria for assessing long-term stability during the retention period is required.

Keywords: *transverse maxillary constriction anomaly, maxillary expansion, removable expansion plates, fixed palatal expanders, bone-borne appliances, Haas appliance, digital 3D technologies in orthodontics*

The authors declare no conflict of interest

Dmitry S. PODOPLELOV ORCID ID 0009-0005-6069-6331

Postgraduate student, Department of Orthodontics and Pediatric Dentistry, Moscow Regional Research and Clinical Institute named after M. F. Vladimirsky, Moscow, Russia
7dimarus@gmail.com

Marina V. EGOROVA ORCID ID 0000-0001-9158-5136

PhD, Head of the Department of Orthodontics and Pediatric Dentistry, Moscow Regional Research and Clinical Institute named after M. F. Vladimirsky, Moscow, Russia
maroeg71@gmail.com

Alla M. DOGARU ORCID ID 0009-0006-2648-4949

Assistant, Department of Orthodontics and Pediatric Dentistry, Moscow Regional Research and Clinical Institute named after M. F. Vladimirsky, Moscow, Russia
monitza27@gmail.com

Artur V. KHEYGETYAN ORCID ID 0000-0002-8222-4854

PhD, Associate Professor, Head of the Department of Dentistry No. 1, Rostov State Medical University, Ministry of Health of Russia, Rostov-on-Don, Russia
artur5953@yandex.ru

Maryan R. KARAMMAEVA ORCID ID 0000-0002-3049-1643

PhD, Associate Professor, Department of Dentistry No. 1, Rostov State Medical University, Ministry of Health of Russia, Rostov-on-Don, Russia
mmrabadan@mail.ru

Tatiana R. KHARAGEZOVA ORCID ID 0009-0007-5547-0295

Assistant, Department of Dentistry No. 1, Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia
tanusha18hal@gmail.com

Farida I. BAKIEVA ORCID ID 0000-0002-0068-3089

Resident, Department of Orthodontics and Pediatric Dentistry, Moscow Regional Research and Clinical Institute named after M. F. Vladimirsky, Moscow, Russia
fora.1506@mail.ru

Corresponding author: Dmitry S. PODOPLELOV

7b Ryabinina St., Yoshkar-Ola, 424002, Russia
+7 (987) 719-06-75
7dimarus@gmail.com

For citation:

Podoplelov D.S., Egorova M.V., Dogaru A.M., Kheygetyan A.V., Karammaeva M.R., Kharagezova T.R., Bakieva F.I.
APPLIANCESFORMAXILLARYEXPANSIONINORTHODONTICPRACTICE:ARETROSPECTIVEANALYSISOFSTUDIES.Actualproblemsindentistry. 2026; 1: 154-164. (In Russ.)
© Podoplelov D.S. et al., 2026
DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-1-154-164

Received 20.02.2026. Accepted 31.03.2026

Введение

Распространенность зубочелюстных аномалий остается одной из наиболее актуальных проблем современной ортодонтии. Например, у детей 7–9 лет частота таких аномалий достигает 73,9%, однако своевременное ортодонтическое вмешательство в период сменного прикуса позволяет снизить этот показатель до ~60% [1]. В наши дни сужение зубных рядов верхней челюсти по-прежнему широко распространено среди детей и подростков, требуя постоянного внимания специалистов [2]. При этом скученность зубов и узкая верхняя челюсть приводят к выраженным функциональным и эстетическим нарушениям, требующим комплексного лечения для устранения дефицита места [3].

Сужение верхней челюсти в трансверсальной плоскости составляет значительную долю всех аномалий прикуса. Данная патология выявляется у 7,9% подростков и 9,9% взрослых, демонстрируя возрастную изменчивость [4]. Также выявлено, что сужение верхнего зубного ряда диагностируется в 63,2% случаев среди всех аномалий, а средняя распространенность узкой верхней челюсти достигает ~33,7%. Наряду с этим, после 15 лет частота этой аномалии увеличивается вследствие окостенения срединного небного шва и снижения пластичности костных структур: в возрасте 10–13 лет — 34%, в 13–15 лет — 60%, а старше 15 лет — 26% [5]. Эти морфологические изменения сопровождаются функциональными нарушениями, влияющими на работу ВНЧС, жевательных мышц, дыхание, глотание и речь.

Углубленный анализ подчеркивает сложность клинической картины и необходимость комплексного подхода. Установлено, что мезиальный прикус встречается у 16% городских детей (8% сельских), а перекрестный прикус — в 6,5% случаев, что отражает высокую сложность их коррекции [6]. По сведениям авторов, дизокклюзия отмечается у 30–50% взрослого населения, а скученность зубов — в 33,7% случаев и преимущественно в переднем отделе [7]. Именно поэтому применение комплексного лечения (включая удаление зубов) позволяет увеличить ширину верхней зубной дуги с $31,2 \pm 1,6$ мм до $35,5 \pm 1,4$ мм и снизить дефицит места на $4,5 \pm 0,8$ мм, что подчеркивает важность раннего вмешательства для профилактики тяжелых форм аномалий [3].

Развитие сужения верхней челюсти обусловлено множеством генетических и внешних факторов, что приводит к высокой частоте встречаемости данной патологии у детей с аномалиями прикуса [8]. Кроме того, отмечено влияние ранней потери молочных зубов (65,2%), вредных привычек (26,1%) и нарушений прорезывания зубов (21,7%) в процесс формирования дистальных окклюзий у детей [9]. Вдобавок, генетическая предрасположенность, дисфункция носового дыхания и вредные оральные привычки являются определяющими факторами в возникновении перекрестной окклюзии, требуя своевременной ортодонтической коррекции [10].

Новые технологии и материалы повышают актуальность раннего расширения верхней челюсти и разра-

ботки высокоточных методов лечения. В последние годы активно внедряются цифровые диагностические и конструкторские решения, улучшая прогноз лечения. Ниже представлен ретроспективный анализ современных исследований по аппаратам для расширения верхней челюсти, обобщающий их показания, методы и клинические результаты.

Цель исследования — провести ретроспективный анализ исследований, посвященных ортодонтическим аппаратам для расширения верхней челюсти, и сопоставить показания, диагностические подходы и клинические эффекты различных конструкций.

Материалы и методы

Выполнен аналитический отбор и критический сравнительный анализ отечественных и зарубежных публикаций по методам расширения верхней челюсти. Рассматривались съемные и несъемные расширяющие аппараты с зубной, костной и комбинированной опорой. Изучены диагностические подходы — клинические, лучевые (ТРГ, КЛКТ) и цифровое моделирование. В анализ включены работы не старше 10 лет, отвечающие критериям релевантности по теме. Всего было найдено 89 научных работ. В итоге 54 научные работы были исключены в соответствии с критериями исключения после прочтения заголовков, аннотаций и полных текстов. Итогом явилось обобщение современных данных об эффективности различных аппаратов расширения и факторов, влияющих на выбор методики.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Съемные ортодонтические аппараты

Общие характеристики: съемные расширяющие аппараты (пластиночные экспандеры с винтом, модификации пластинок Шварца, эластодонтические устройства и др.) в период сменного прикуса решают две ключевые задачи: дозированное расширение верхней зубной дуги с созданием дополнительного пространства под прорезывание постоянных зубов и раннюю профилактику/коррекцию трансверсальных и сопутствующих аномалий прикуса при минимальной инвазивности. Они обеспечивают высокую управляемость силового воздействия и хорошо переносятся пациентами. Эластодонтические аппараты в смешанном прикусе позволяют достичь клинически значимого одновременного уменьшения сагиттальной щели и расширения переднего отдела дуги, улучшая соотношения челюстей у детей с сочетанными аномалиями [11].

Показания:

- легкая и умеренная поперечная недостаточность верхней челюсти без выраженного скелетного блока — ожидаемый прирост межжлыковой/межмоллярной ширины составляет единицы миллиметров в соответствии с дефицитом места [12];
- небольшая фронтальная скученность, требующая сочетания умеренного расширения и контролируемой межпроксимальной редукции (IPR) эмали 0,2–0,5 мм на контакт — суммарно до ~1,5–2,5 мм освобожденного пространства, что сопровождается уменьшением оверджета на ~3–3,5 мм и улучшением формы дуги [13];

- сочетанные сагиттально-трансверзальные нарушения у детей (например, дистальный прикус с увеличенным оверджетом и узкой верхней дугой), когда эластопозиционеры позволяют одновременно сокращать сагиттальную щель и расширять передний отдел зубного ряда [11];

Противопоказания и ограничения:

- низкий комплаенс (недостаточное ношение аппарата менее ~14 ч в сутки) и плохая гигиена полости рта — эти факторы ассоциированы с жалобами на дискомфорт и неприятный запах, что ухудшает переносимость и снижает эффективность лечения [14];

- выраженная скелетная поперечная дисгармония, при которой съемная аппаратура без вспомогательной опоры заведомо недостаточна — в таких случаях требуются несъемные зубо- или костно-опорные экспандеры либо хирургическое ассистирование [11];

- наличие множественного кариеса и воспалительных заболеваний слизистой до санации, а также повышенная чувствительность или аллергия на материалы базиса пластинки — эти состояния необходимо устранить или учесть до начала экспансии [15].

Протокол расширения: активация винтовых элементов съемных пластинок проводится малыми шагами ~0,25 мм 2–3 раза в неделю под контролем врача. Целевая суммарная экспансия выбирается по величине дефицита места и трансверзального несоответствия (в мм). После достижения планируемой ширины дуги — обязательная ретенция не менее 6–12 месяцев (с постепенным переходом на ношение только ночью в поздней фазе ретенции) до стабилизации межмолярного расстояния. При медленном расширении съемными пластинками прирост межзубных расстояний обычно составляет 3–5 мм, сопровождаясь благоприятной перестройкой формы неба. Отмечено, что без лечения естественный возрастной прирост ширины дуги за аналогичный период не превышает ~1–2 мм, что подчеркивает вклад ортодонтической экспансии в достигнутый результат.

Комбинация съемного расширителя с дозированной межзубной шлифовкой (IPR) позволяет предсказуемо высвободить место для выравнивания зубов: 0,2–0,5 мм с контакта (суммарно ~1,5–2,5 мм). В клинических примерах это приводит к уменьшению резового перекрытия на ~3,0–3,5 мм и гармонизации формы дуги [13]. Существуют специальные конструкции (например, split labial bow) для управляемого закрытия диастем. Описаны серии случаев полного устранения межрезцовых промежутков 2–4 мм с удержанием результата в ретенционный период [17–19].

Эффективность и переносимость: по опросникам, ~30–40 % пациентов отмечают дискомфорт или болевые ощущения в первые дни ношения аппарата, а также трудности с гигиеной. Тем не менее, большинство детей воспринимают съемное лечение как вполне приемлемое при условии адекватного инструктажа семьи [14]. Регулярная гигиеническая обработка аппаратов значительно улучшает ситуацию: в проспективном исследовании у 36 детей 6–12 лет показано, что ежедневная чистка пла-

стинок с применением активного кислородного средства уменьшает микробный титр вдвое и снижает покрытие биопленкой на 75 %, при этом показатели гигиены протеза достоверно улучшаются [15]. Наиболее часто в биопленке съемных аппаратов выявляются *Streptococcus* spp., *Staphylococcus aureus*, *Candida* spp., а также пародонтопатогены (*A. actinomycetemcomitans*, *P. gingivalis*, *T. forsythia* и др.) [15].

Типичные проблемы при съемном лечении — кратковременная боль, нарушение дикции и жевания, эпизоды галитоза, затруднение очистки аппарата. Эти факторы прямо коррелируют с режимом ношения и информированностью семьи. Поэтому стандартизированный протокол лечения должен включать шкалу адаптации пациента, памятку по уходу за аппаратом и контроль его использования родителями [15, 20]. Как показали исследования, эффективность терапии значительно повышается при должном внимании к мотивации ребенка, обучению гигиене и налаженному контакту ортодонт–пациент–родители [20].

2. Методы лечения с применением аппаратов несъемной фиксации

Общие характеристики: несъемные ортодонтические конструкции применяются при выраженных формах сужения верхней челюсти, обеспечивая преимущественно скелетное расширение за счет дивергенции срединного небного шва. В ходе быстрого небного расширения происходит разделение небных отростков верхней челюсти с их латеральным смещением и увеличением объема верхнечелюстного комплекса. Это создает дополнительное пространство для прорезывания зубов, устраняет сужение зубных дуг и улучшает функции носового дыхания и жевания. По сравнению со съемными пластинками, несъемные экспандеры дают более устойчивые и прогнозируемые результаты, особенно у подростков и взрослых.

Показания:

- клинически значимое трансверзальное несоответствие, сопровождающееся односторонним или двусторонним перекрестным прикусом, узким высоким небом и функциональной блокировкой нижней челюсти — в таких случаях винтовые небные экспандеры обеспечивают предсказуемое раскрытие шва и увеличение межмолярной ширины в короткую активную фазу продолжительностью от двух до четырех недель [21, 22];

- преобладание скелетного компонента дефицита поперечных размеров — показано использование аппаратов с опорой на кость (мини-импланты, системы MARPE), что позволяет достичь большего скелетного расширения и снизить нежелательные зубоальвеолярные побочные эффекты [4, 23];

- ранний детский возраст при истинной поперечной аномалии (например, перекрестный прикус в период временного прикуса) — применение аппарата Haas у детей 5–7 лет показало высокую эффективность в устранении перекрестного прикуса и расширении небной пластинки [6]. В частности, у детей 5 лет с правосторонним перекрестным прикусом использование

аппарата Наас (по методике Марко Росса) привело к нормализации трансверзальных параметров и функций дыхания и жевания [6];

Противопоказания и ограничения:

- низкий комплаенс и неудовлетворительная гигиена полости рта — хотя несъемные аппараты не требуют сотрудничества в ношении, тяжелое нарушение гигиены может привести к осложнениям (мукозит, кариес вокруг опорных колец). При недостаточном уходе терапия экспандером должна быть отложена до санации (аналогично съемным аппаратам) [14];
- крайне выраженная скелетная поперечная дисгармония — если ожидается, что одного несъемного расширения недостаточно, необходим переход к комбинированным методам с костной опорой или хирургическому ассистированию [11];
- активный кариес, гингивит, пародонтит до лечения, а также аллергия на материалы аппарата — требуют предварительного лечения и подбора гипоаллергенных конструкций, иначе служат противопоказанием [15].

Клинические результаты: наиболее распространенными несъемными конструкциями являются небные пластины с винтовым механизмом (например, аппарат Хасса, Нугах), обеспечивающие дозированный раздвиг небных отростков. В исследовании И. А. Ахатовой (2022) применение аппарата Марко Росса у детей 6–9 лет привело к статистически значимому расширению верхней зубной дуги, с вероятностью успеха лечения ~77%. Средний прирост ширины в области первых премоляров составил $4,03 \pm 1,12$ мм, а в области первых моляров — $5,08 \pm 0,58$ мм, что обеспечило дополнительное место для прорезывания постоянных зубов и улучшение окклюзионных соотношений [5].

Альтернативный метод быстрого небного расширения с использованием аппарата Наас также демонстрирует высокую эффективность при значительном сужении. Максимальная экспансия в области первых моляров достигается в среднем за 24 дня и составляет $4,66 \pm 0,36$ мм. Итоговое расширение в области боковых резцов через 6 месяцев ретенции — $7,38 \pm 0,12$ мм и $7,86 \pm 0,85$ мм (с каждой стороны). Несмотря на полученные значительные изменения, автор подчеркивает необходимость тщательного ретенционного периода (в среднем 6–12 месяцев) для минимизации риска рецидива. Для удержания результата рекомендуются съемные ретенционные пластинки или несъемные ретейнеры, а также регулярный контроль окклюзии [21].

Разновидности конструкций:

- аппарат Наас: Классический винтовой экспандер с акриловыми пластинами на небе. При применении аппарата Наас по методике Марко Росса у детей 5–6 лет удается эффективно устранить даже выраженный перекрестный прикус, расширить небо и предотвратить нарушения функций [6];
- аппарат Нугах: Металлический винтовой экспандер без акрилового базиса. Оптимальное расположение винта на уровне первых премоляров обеспечи-

вает равномерное распределение силы и стабильные результаты у подростков 10–13 лет [22]. Нугах отличается относительным удобством (меньший объем во рту), меньшим дискомфортом и возможностью точной дозировки активации;

- аппарат Дерихсвайлера (мини-имплантатный MARPE): Костно-опорный экспандер с опорой на 2–4 мини-винта. При использовании костного экспандера величина расширения первых моляров достигала $9,7 \pm 6,9$ мм, тогда как при зубоопорном — лишь $3,9 \pm 2,1$ мм [23]. Таким образом, опора на кость обеспечивает более выраженный и стабильный скелетный эффект, снижая риск рецидива и нежелательных наклонов зубов.

3. Комбинированный метод: несъемные расширяющие аппараты с хирургическим ассистированием

У пациентов старше ~15 лет и/или при резко выраженном скелетном компоненте поперечного дефицита эффективность одной ортодонтической экспансии ограничена из-за окостенения небного шва. В подобных случаях показано сочетание несъемного расширителя с хирургическим ассистированием. Применяются как классические методики SARPE/SARME (хирургически ассистированное быстрое небное расширение), так и малоинвазивные протоколы — кортикотомия, пьезоцизия, микроостеоперфорации. Эти вмешательства направлены на усиление скелетного эффекта и позволяют контролировать прирост межпремолярной/межмолярной ширины (в мм) при минимизации нагрузок на зубоальвеолярные структуры [4].

Показания:

- выраженное трансверзальное скелетное несоответствие (односторонний/двусторонний перекрестный прикус, высокое узкое небо) при признаках окостенения шва и/или неэффективности предыдущей съемной терапии [4]. В таких ситуациях комбинация расширителя с остеотомией позволяет успешно раскрыть шов;
- необходимость преобладающего скелетного эффекта — когда требуется значительный прирост межмолярной ширины в мм, при сведении к минимуму зубоальвеолярных наклонов. В данной ситуации хирургическая поддержка оправдана для предотвращения рецессий десны и наклона зубов при больших ширинах раскрытия [23];
- сопутствующие функциональные нарушения, такие как хроническое оральное дыхание или симптомы обструктивного апноэ сна у детей — многочисленные исследования подтверждают, что расширение верхней челюсти приносит долговременное улучшение дыхательной функции. В 5-летнем проспективном наблюдении у детей после небной экспансии отмечено значимое снижение симптомов ночного апноэ [24];
- узкая небная кость ($\leq \sim 2,5$ мм толщиной) и/или «ригидный» шов, затрудняющий классическое расширение. В таких случаях рекомендованы костно-опорные решения с увеличенным числом опор (например, 4–6 мини-винтов) и CAD/CAM-производством индивидуальных экспандеров [25, 26]. Навигационное позици-

онирование винтов с помощью 3D-шаблонов повышает безопасность параллельного раскрытия шва [27].

Противопоказания:

- невылеченный кариес, активный гингивит/пародонтит, неудовлетворительная гигиена — любые источники инфекции должны быть устранены до проведения хирургически ассистированной экспансии. При несоблюдении данного требования возрастает риск осложнений, таких как инфицирование раны, остеомиелит [2];

- тяжелые соматические противопоказания к операции (нарушения свертываемости крови, иммунодефициты и др.), а также неспособность пациента соблюдать послеоперационный режим (например, у лиц с особыми потребностями) — относительные противопоказания, требующие альтернативных подходов в виде консервативного лечения или отсрочки вмешательства [4];

- категорическое несогласие семьи на оперативное вмешательство, отсутствие возможности регулярных активаций и ретенционных мероприятий — в таких ситуациях велик риск рецидива даже при успешно проведенной экспансии [22]. Следует либо пересмотреть тактику лечения, либо обеспечить дополнительную мотивационную работу с пациентом и семьей.

Основные техники ассистированной экспансии:

- SARPE/SARME (хирургически ассистированное быстрое небное расширение): классическая методика, включающая линейную остеотомию (разъединение небных отростков верхней челюсти по шву) на уровне Le Fort I с последующей активацией небного экспандера — зубоопорного (Нугах/Naas) или костно-опорного (MARPE-платформа). Метод позволяет получить надежное раскрытие шва у пациентов с завершённым ростом [4]. Расширение проводится в привычном режиме (два поворота винта в сутки), но под прикрытием хирургических разрезов, что уменьшает сопротивление;

- кортикотомия/пьеозоцизия/микроостеоперфорации (малоинвазивная остеопластика): нанесение серий неглубоких кортикальных насечек или перфораций вдоль предполагаемой линии дивергенции шва и в зонах максимальной сопротивляемости костных структур. Эти манипуляции выполняются либо вручную (диски, боры), либо пьезохирургическим аппаратом, и сочетаются с одновременной установкой несъемного экспандера. Преимущества — меньшая травматичность и отсутствие остеотомии, более короткий период заживления, возможность проведения под местной анестезией. Комбинация кортикотомии с ортодонтической экспансией позволяет увеличить ширину твердого неба на $7,10 \pm 2,41$ мм в среднем, тогда как без нее — лишь $1,41 \pm 0,31$ мм [4]. Это подчеркивает необходимость хирургической поддержки при жестком шве;

- костно-опорные экспандеры с цифровой навигацией: использование CAD/CAM-технологий для проектирования индивидуального небного расширителя на мини-имплантатах и шаблонов для их установки. Такая система может применяться как самостоятельно, так и вместе с кортикотомией. При навигационно управля-

емом MARPE достигается параллельное раскрытие шва $\sim 3,6$ мм, увеличение межмолярной ширины с $47,6$ до $53,2$ мм, а площадь твердого неба возрастает с ~ 1249 до 3465 мм². Одновременно по данным КЛКТ улучшаются показатели проходимости носовых дыхательных путей [27]. В целом, опора на кость в сочетании с навигацией дает более выраженный линейный эффект в области моляров ($\sim 9,7 \pm 6,9$ мм против $\sim 3,9 \pm 2,1$ мм при зубоопорных системах) и повышает предсказуемость скелетного результата [23]. Цифровое планирование и шаблоны также уменьшают неравномерность раскрытия и зубоальвеолярные побочные эффекты [25, 26].

Примечание: при любой технике с хирургическим ассистированием особое внимание уделяется ретенции. После активной фазы расширения аппарат, как правило, оставляется в качестве ретенционного устройства на 6–12 месяцев. Это необходимо для полного заполнения образовавшегося шва костью и стабилизации полученной ширины. Несоблюдение ретенции ведет к частичной потере эффекта, особенно у взрослых пациентов.

4. Современные технологии в ортодонтическом расширении

Современные цифровые технологии формируют сквозной рабочий цикл в ортодонтии — от этапа диагностики до изготовления аппаратов. Широко используются интраоральное сканирование, трехмерная визуализация (КЛКТ) и аддитивное производство (3D-печать), что повышает точность, воспроизводимость и предсказуемость лечения [28, 29]. В ортодонтической практике сегодня применяются основные методы 3D-печати: стереолитография (SLA/DLP) для фотополимеров и селективное лазерное спекание/плавление металлов (SLS/SLM/DMLS). Это позволяет изготавливать высокоточные диагностические модели, хирургические шаблоны, индивидуальные ортодонтические конструкции, экономия материал и время. Однако преимущества точности и скорости уравниваются необходимостью стандартизации протоколов и высокой стоимостью оборудования [30].

Точность интраоральных сканеров нового поколения достигает порядка 25–50 мкм при оцифровке всей зубной дуги. К примеру, сканер iTero при правильной технике дает погрешность не более сотых долей миллиметра, хотя требуются обучение персонала и учет артефактов (бликов от металлических брекетов, слюны и т.д.) [31]. Комбинация данных интрасканирования и КЛКТ открывает новые возможности в мониторинге лечения. Применение 3D-контроля за перемещением ретинированных клыков позволяет фиксировать скорость их вертикального продвижения ($\sim 4,49$ мм за 4 месяца) с точностью до $\pm 0,03$ мм [32]. Это подтверждает ценность цифрового отслеживания зубов в реальном времени при сложных перемещениях.

В клинической практике фотополимерные 3D-процессы (SLA/DLP) уже стали основой изготовления временных моделей, кап для непрямой фиксации брекетов, индивидуальных небных дуг и хирургических навигационных шаблонов. Крайне важно соблюдение регла-

ментов пост-обработки (отмыв, отверждение изделий) для достижения заявленной точности и биосовместимости [29]. С точки зрения организационной эффективности, внедрение 3D-технологий позволяет сократить сроки изготовления аппаратов (например, с ~14 до 5 дней), уменьшить длительность лечения на ~25 %, снизить количество ошибок на 32 % при одновременном росте удовлетворенности пациентов до ~89 % [33].

Для коррекции сужения у подростков и взрослых активно применяются цифровые костно-опорные экспандеры MARPE/MSE. Виртуальное планирование расположения мини-винтов позволяет достичь успеха расширения более чем в 95 % случаев и обеспечить более контролируемое распределение сил на челюсть [26]. При тонком небе (< 2,5 мм) рекомендуются конструкции с увеличенным числом опорных винтов (до 6) и индивидуальным CAD/CAM-производством [25]. Навигационная установка винтов по 3D-печатным шаблонам снижает риск зубоальвеолярных побочных эффектов, характерных для классических зубоопорных систем [27].

Отдельно стоит отметить новую концепцию эласто-позиционеров для постепенного небного расширения. Например, разработан последовательный элайнер Invisalign Palatal Expander, обеспечивающий поэтапное расширение: около 0,25 мм на этап с общим достижением результата за 4–6 месяцев. Этот подход позволяет мягко и предсказуемо расширять дугу у подростков без применения винтовых аппаратов, однако пока требует дальнейших клинических исследований [35].

В ортодонтии особой группы пациентов — например, новорожденных с расщелинами — цифровые технологии позволили внедрить безопасный безоттисковый цикл изготовления пластиночных аппаратов (ношение таких пластин улучшает питание и формирование неба до оперативного закрытия расщелины). К примеру, применение 3D-печатных пластинок для неба у грудничков с расщелиной обеспечивает лучшую адаптацию к тканям по сравнению с фрезерованными аналогами, при сопоставимой прочности [34]. Таким образом, цифровая ортодонтия не только повышает точность лечения, но и расширяет возможности помощи самым уязвимым пациентам.

Ограничения цифровых методов: несмотря на очевидные преимущества, внедрение 3D-технологий сопряжено с определенными трудностями. Высокая стоимость оборудования и программного обеспечения, необходимость обучения персонала и стандартизации рабочих протоколов могут ограничивать широкое применение в клиниках [28–30]. Кроме того, некоторые материалы для 3D-печати пока уступают по прочности традиционным, что важно для долговременных ортодонтических аппаратов. Однако прогресс в этой области идет стремительно, и ожидается, что дальнейшее развитие технологий (например, печать из новых биосовместимых полимеров и сплавов, использование искусственного интеллекта для планирования) позволит преодолеть текущие ограничения.

Выводы

Ретроспективный анализ современных исследований показал, что сужение верхней челюсти является одной

из наиболее распространенных аномалий прикуса, существенно влияющей на формирование окклюзионных взаимоотношений, дыхание, глотание и речь. Распространенность данной патологии увеличивается с возрастом, особенно после 15 лет, что связано с прогрессивным окостенением небного шва. Научные данные подтверждают: своевременное расширение верхней челюсти в период роста (смешанный прикус) значительно снижает риск развития тяжелых форм окклюзионных нарушений и улучшает функциональные и эстетические показатели пациента.

Выбор метода расширения должен определяться тяжестью поперечного дефицита и возрастом пациента. При незначительном или умеренном поперечном дефиците у детей эффективны съемные пластинки и эластодонтические аппараты, обеспечивающие необходимый прирост дуги при минимуме побочных эффектов. В более сложных случаях, особенно у подростков, предпочтительны несъемные винтовые аппараты (Нугах, Naas, MARPE), способные дать преимущественно скелетный эффект. При этом ключевым условием успеха является комплексная диагностика (клиника + КЛКТ) и соблюдение ретенционного этапа для стабилизации результата. У взрослых пациентов или при ригидном небном шве оптимальным решением становится хирургически ассистированное расширение (SARPE или малотравматичные остеоперфорации), позволяющее безопасно раскрыть шов и достичь необходимой ширины дуги без повреждения зубов и пародонта.

Активное развитие 3D-технологий в ортодонтии открывает новые перспективы в лечении трансверсальных аномалий. Цифровое сканирование, виртуальное планирование и 3D-печать уже сегодня применяются для создания индивидуализированных экспандеров и навигационных шаблонов. Это повышает точность и воспроизводимость лечения, сокращает сроки изготовления аппаратов и повышает комфорт пациентов. Современные исследования демонстрируют высокую эффективность цифровых расширяющих аппаратов, изготовленных по технологии CAD/CAM, и даже появление полностью цифровых решений (например, Invisalign Expander). В то же время основными проблемами остаются высокая стоимость и необходимость стандартизации цифровых протоколов.

Таким образом, ортодонтическое расширение верхней челюсти в детском возрасте является оптимальным методом профилактики и коррекции сужения зубных дуг. Интеграция цифровых технологий позволяет повысить предсказуемость и индивидуализацию лечения, создавая фундамент для дальнейшего совершенствования ортодонтической помощи. Будущие исследования должны быть направлены на оценку долгосрочной стабильности полученных результатов, особенно с учетом быстрого внедрения новых материалов и методов. Унификация критериев оценки эффективности и ретенции результатов расширения также является актуальной задачей, решение которой позволит разработать более четкие клинические рекомендации.

Литература/References

1. Олесов Е. Е., Каганова О. С., Миргазизов М. З., Олесова В. Н., Фазылова Т. А. Результативность устранения зубочелюстных аномалий у детей младшего школьного возраста. Медицина экстремальных ситуаций. 2020;22(2):170–178. [Olesov E. E., Kaganova O. S., Mirgazizov M. Z., Olesova V. N., Fazylova T. A. The impact of the elimination of dental anomalies in children of primary school age. Extreme Medicine. 2020;22(2):170–178. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=43359707>
2. Шерегов А. Х., Хараева З. Ф., Мустафаев М. Ш., Бозиева Д. С., Асанова Л. Р. Адгезивная активность ортодонтических пластиночных аппаратов к смешанной микрофлоре полости рта. Пародонтология. 2024;29(1):103–108. [Sheregov A. K., Kharaeva Z. F., Mustafaev M. S., Bozieva D. S., Asanova L. R. Adhesive interaction of orthodontic plate appliances with mixed oral microbiota. Parodontologiya. 2024;29(1):103–108. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2024-859>
3. Галстян С. Г. Оптимизация методов ортодонтического лечения пациентов с дефицитом места в зубном ряду: дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург; 2020. 123 с. [Galstyan S. G. Optimization of orthodontic treatment methods for patients with space deficiency in the dentition: dissertation for the degree of candidate of medical sciences. St. Petersburg; 2020. 123 p. (In Russ.)]. https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010251729/
4. Махортова П. И. Клинико-рентгенологическое сравнение методов комбинированного лечения пациентов с сужением верхней челюсти: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Москва; 2020. 26 с. [Makhortova P. I. Clinical and radiological comparison of combined treatment methods for patients with narrowing of the upper jaw: abstract of a dissertation for the degree of candidate of medical sciences. Moscow; 2020. 26 p. (In Russ.)]. https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010254482
5. Ахтамов И. А., Садуллаева Г. И., Нигматова И. М. Анализ результатов ортодонтического лечения детей с сужением верхних зубных рядов с применением аппарата Марка Росса. Актуальные проблемы стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. 2022;1(1):203–204. [Akhmatov I., Sadullaeva G., Nigmatova I. Analysis of the results of orthodontic treatment of children with narrowing of the upper dental arches using the Mark Ross apparatus. Actual Problems of Dentistry and Maxillofacial Surgery. 2022;1(1):203–204. (In Russ.)]. <https://inlibrary.uz/index.php/problems-dentistry/article/view/15847>
6. Харлап Д. Ю., Гембицкая А. А. Скелетное расширение верхнего зубного ряда аппаратом HAAS в период временного прикуса. В: Рубникович С. П., Филонюк В. А., ред. Актуальные проблемы современной медицины и фармации 2021: сб. тез. докл. LXXV Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых; Минск; 14–16 апр. 2021 г. Минск: БГМУ; 2021. С. 800. [Kharlap D. Yu., Gembitskaya A. A. Skeletal expansion of the upper dentition using the HAAS appliance during primary occlusion. In: Rubnikovich S. P., Filonyuk V. A., eds. Actual Problems of Modern Medicine and Pharmaceutics 2021: Collection of Abstracts of the LXXV International Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists; Minsk; April 14–16, 2021. Minsk: BSMU; 2021. P. 800. (In Russ.)]. <https://rep.bsmu.by/handle/BSMU/35341>
7. Тимофеев Е. В., Галстян С. Г., Земцовский Э. В. Аномалии прикуса и нарушение роста зубов: критерии диагностики или клинические проявления наследственных нарушений соединительной ткани? Juvenis scientia. 2021;7(4):22–31. [Timofeev E. V., Galstyan S. G., Zemtsovskiy E. V. Malocclusion and dental growth disorders: diagnostic criteria or clinical manifestations of hereditary connective tissue disorders? Juvenis scientia. 2021;7(4):22–31. (In Russ.)]. https://doi.org/10.32415/jscientia_2021_7_4_22-31
8. Вахобова М. Б. Этиологические факторы развития сужения верхней челюсти. Актуальные проблемы стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. 2022;4(1):55–58. [M. B. Vakhobova. Etiologicheskie faktory razvitiya suzheniya verkhnei chelyusti. Aktual'nye problemy stomatologii i chelyustno-litsevoi khirurgii. 2022;4(1):55–58. (In Russ.)]. <https://inlibrary.uz/index.php/problems-dentistry/article/view/16105>
9. Гулиева С. К. Этиологические факторы, приводящие к формированию сагиттальных аномалий II класса у детей. Azerbaijan Medical Journal. 2023;(3):65–70. [Guliyeva S. G. Etiological factors are leading to the formation of sagittal anomalies in schoolchildren studied 2nd class. Azerbaijan Medical Journal. 2023;(3):65–70. <https://doi.org/10.34921/amj.2023.3.010>
10. Нигматов Р. Н., Акбаров К. С., Нигматова И. М. Этиология, диагностика, распространенность и ортодонтическое лечение детей с перекрестной окклюзией в период смешанного прикуса. Stomatologiya (Uzbekistan). 2023;1(2–3):66–74. [Nigmatov R., Akbarov K., Nigmatova I. Etiology, diagnosis, prevalence and orthodontic treatment of children with cross occlusion in mixed dentition. Stomatologiya (Uzbekistan). 2023;1(2–3):66–74. (In Russ.)]. <https://inlibrary.uz/index.php/stomatologiya/article/download/21678/22528>
11. Ureni R., Verdecchia A., Suárez-Fernández C., Mereu M., Schirru R., Spinas E. Effectiveness of Elastodontic Devices for Correcting Sagittal Malocclusions in Mixed Dentition Patients: A Scoping Review. Dentistry journal. 2024;12(8):247. <https://doi.org/10.3390/dj12080247>
12. Palka J., Gawda J., Byś A., Zawadka M., Gawda P. Assessment of Growth Changes in the Width of Dental Arches Caused by Removable Appliances over a Period of 10 Months in Children with Malocclusion. International journal of environmental research and public health. 2022;19(6):3442. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063442>
13. Sabrina R. M., Arnanda B. B. Removable Orthodontic Appliance with Interproximal Reduction to Correct Mandibular Anterior Crowding. Jurnal EduHealth. 2025;16(3):1264–1274. <https://doi.org/10.54209/eduhealth.v16i03>
14. Amin E., Bangash A. A. Removable orthodontic appliances and patient perceived problems. Pakistan Armed Forces Medical Journal. 2020;70(1):101–105. <https://www.pafmj.org/PAFMJ/article/view/3979>
15. Коледаева А. К., Зайнутдинова А. В., Караева Т. В., Колеватых Е. П., Еликов А. В., Куikliна Е. А. и др. Анализ микробиома поверхности съемных ортодонтических пластинок, обработанных различными средствами гигиены. Эндодонтия Today. 2025;23(3):473–479. [Koledaeva A. K., Zaynutdinova A. V., Karavaeva T. V., Kolevatykh E. P., Elikov A. V., Kuklina E. A. et al. Analysis of the surface microbiome of removable orthodontic appliances cleaned with various hygiene products. Endodontics Today. 2025;23(3):473–479. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.36377/ET-0120>
16. Kinzinger G. S.M., Hourfar J., Kim H. J., Lissou J. A. Morphological changes in the palate after transverse expansion with removable orthodontic plate appliances: Short-term effects and follow-up stability. Journal of orofacial orthopedics. 2025. (Advance online publication). <https://doi.org/10.1007/s00056-025-00592-z>
17. Wardana P. N., Kumalasari M. R. Treatment of Central Diastema using Split Labial Bow. Improve Quality in Dentistry. 2025;2(1):67–71. <https://doi.org/10.18196/imunity.v2i1.74>
18. Utari T. R., Familiya I. N., Agustini E. T. Treatment of Maxillary Multiple Diastema and Mandibular Mild Crowding Using Removable Orthodontic Appliances. Improve Quality in Dentistry. 2025;2(1):20–26. <https://doi.org/10.18196/imunity.v2i1.46>
19. Inayah R. A., Suparwitri S., Noviasari P. Management of Central Diastema Caused by Impacted Supernumerary Teeth Using Removable Orthodontic Therapy and Odontectomy Intervention Under General Anesthesia: A Case Report. Improve Quality in Dentistry. 2025;2(1):304–311. <https://doi.org/10.18196/imunity.v2i1.51>
20. Al-Moghrabi D., Salazar F. C., Pandis N., Fleming P. S. Compliance with removable orthodontic appliances and adjuncts: A systematic review and meta-analysis. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. 2017;152(1):17–32. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.03.019>
21. Пономарева М. Л. Анализ результатов применения методики быстрого небного расширения в ортодонтическом лечении детей. В: Оказание стоматологической помощи детям: материалы научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры детской стоматологии и ортодонтии имени профессора Е. Ю. Симановской; Пермь; 23–24 апреля 2020 года. Пермь: Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета; 2020. С. 83–88. [Ponomareva M. L. Analysis of the results of applying the rapid palatal expansion technique in orthodontic treatment of children. In: Providing dental care to children: materials of the scientific and practical conference dedicated to the 50th anniversary of the Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics named after Professor E. Yu. Simanovskaya; Perm; April 23–24, 2020. Perm: Publishing House of Perm National Research Polytechnic University; 2020. Pp. 83–88. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=42422333>
22. Косырева Т. Ф., Бирюков А. С., Воейкова О. В., Самойлова М. В., Горшунова Н. В., Раша А. и др. Эффект ортодонтической коррекции сужения зубных рядов верхнечелюстным несъемным аппаратом с винтом в период пубертатного скачка в росте. Стоматология детского возраста и профилактика. 2023;23(2):143–152. [Kosyreva T. F., Biryukov A. S., Voeikova O. V., Samoylova M. V., Gorshunova N. V., Rasha A. et al. Effect of maxillary constriction orthodontic correction using a fixed appliance with a screw in teenagers during a growth spurt. Pediatric dentistry and dental prophylaxis. 2023;23(2):143–152. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33925/1683-3031-2023-564>
23. Кадыров Ж. М., Нигматов Р. Н., Арипова Г. Э., Нигматова И. М., Акбаров К. С. Ортодонтическое лечение сужения зубных рядов верхней челюсти. In Library. 2023;3(3):55–59. [Kadyrov J., Nigmatov R., Aripova G., Nigmatova I., Akbarov K. Orthodontic treatment of narrowing of the upper jaw dental arches. In Library. 2023;3(3):55–59. (In Russ.)]. <https://inlibrary.uz/index.php/archive/article/view/44490>
24. Nietvelt N., Willems G., Buysse B., Detailleur V., Cadenas de Llano-Pérola M. Sleep disordered breathing symptoms in children: a prospective evaluation 5 years after maxillary expansion. Sleep medicine. 2025;134:106700. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2025.106700>
25. Cantarella D., Karanxha L., Zanata P., Moschik C., Torres A., Savio G. et al. Digital Planning and Manufacturing of Maxillary Skeletal Expander for Patients with Thin Palatal Bone. Medical devices (Auckl). 2021;14:299–311. <https://doi.org/10.2147/MDER.S331127>
26. Ludwig B., Venugopal A., Wiechmann D., Nanda R. Boneborne rapid palatal expansion-the virtual way. Journal of clinical orthodontics. 2022;55(4):239–243. <https://www.jco-online.com/archive/2022/04/239-digital-ortho-lab-boneborne-rapid-palatal-expansion-the-virtual-way>
27. Sánchez-Riofrio D., Viñas M. J., Ustrell-Torrent J. M. CBCT and CAD-CAM technology to design a minimally invasive maxillary expander. BMC oral health. 2020;20(1):303. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01292-3>
28. Francisco I., Ribeiro M. P., Marques F., Travassos R., Nunes C., Pereira F. et al. Application of Three-Dimensional Digital Technology in Orthodontics: The State of the Art. Biomimetics (Basel). 2022;7(1):23. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7010023>
29. Rathi H. P., Chandak M., Reche A., Dass A., Sarangi S., Thawri S. R. Smart Biomaterials: An Evolving Paradigm in Dentistry. Cureus. 2023;15(10):e47265. <https://doi.org/10.7759/cureus.47265>
30. Карапетян А. А., Уханов М. М., Ряховский А. Н. 3D-печать из металлов в стоматологии. Стоматология. 2022;101(5):85–91. [Karapetyan A. A., Ukhanov M. M., Ryahevskiy A. N. Metal 3D printing in dentistry. Stomatology. 2022;101(5):85–91. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/stomat202210105185>
31. Jabri M. A., Wu S., Pan Y., Wang L. An overview on the veracity of intraoral digital scanning system and utilization of iTero scanner for analyzing orthodontic study models both In-Vivo and Ex-Vivo. Nigerian journal of clinical practice. 2021;24(1):1–7. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_698_19
32. Ceraulo S., Barbarisi A., Oliva B., Moretti S., Caccianiga G., Lauritano D. et al. Treatment Options in Impacted Maxillary Canines: A Literature Review. Dentistry journal (Basel). 2025;13(9):433. <https://doi.org/10.3390/dj13090433>

33. Ахророва М. Ш., Тараненко Т. В. Использование 3D-технологий в диагностике и лечении ортодонтических аномалий. International Conference on Modern Science and Scientific Studies. 2025;(2):237–244. [Akhrorova M.Sh., Taranenko T. V. Using 3D technologies in the diagnosis and treatment of orthodontic anomalies. International Conference on Modern Science and Scientific Studies. 2025;(2):237–244. (In Russ.)]. <https://econfseries.com/index.php/5/article/view/848>
34. Xepapadeas A. B., Weise C., Frank K., Spintzyk S., Poets C. F., Wiechers C. et al. Technical note on introducing a digital workflow for newborns with craniofacial anomalies based on intraoral scans — part I: 3D printed and milled palatal stimulation plate for trisomy 21. BMC Oral Health. 2020;20(1):20. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-1001-4>
35. Nicozisis J. L. Protocol for the Invisalign Palatal Expander. Journal of clinical orthodontics. 2024;58(12):725–730. <https://www.jco-online.com/archive/2024/12/725-protocol-for-the-invisalign-palatal-expander>