

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕРХНИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ ПОСЛЕ БЫСТРОГО НЕБНОГО РАСШИРЕНИЯ У ПОДРОСТКОВ

О. М. Мрикаева¹✉, Ф. Т. Ахматова¹, М. Р. Какаева¹, Е. У. Расуханова¹, С. С-Х. Эльмурзаев², Б. Х. Джабраилов², С. Т. Юсупова², С. Л. Тугуева², С. М. Идрисова²

¹ Северо-Осетинский государственный университет имени К. Л. Хетагурова, Владикавказ, Россия

² Северо-Осетинская государственная медицинская академия, Владикавказ, Россия

Быстрое небное расширение может влиять не только на размеры верхней челюсти, но и на проходимость верхних дыхательных путей у подростков, однако вклад зубо-опорных и мини-винт-ассистированных аппаратов требует уточнения. Цель работы — оценить морфофункциональные изменения верхних дыхательных путей после быстрого небного расширения и сопоставить динамику при использовании Нурах и MARPE. Проведено проспективное пилотное исследование 24 подростков 12–16 лет с трансверзальной недостаточностью верхней челюсти: в 14 наблюдениях применяли Нурах, в 10 — MARPE. Контрольные точки: T0 — до лечения, T1 — через 6 месяцев после завершения активации. Оценивали объем полости носа, носоглотки и ротоглотки, минимальную площадь ретропалатального уровня, суммарное носовое сопротивление при 150 Па и балл NOSE. После лечения объем полости носа увеличился на 14,6% ($p < 0,001$), объем носоглотки — на 8,9% ($p = 0,003$), минимальная площадь ретропалатального уровня — на 12,1% ($p = 0,012$), суммарное носовое сопротивление снизилось на 24,7% ($p < 0,001$), балл NOSE — на 35,4 пункта ($p < 0,001$). Изменение объема ротоглотки не достигло статистической значимости ($p = 0,091$). Межгрупповых различий между Нурах и MARPE не выявлено ($p > 0,05$). Быстрое небное расширение улучшило показатели полости носа и носоглотки; сравнение методик требует исследований с априорным расчетом выборки.

Ключевые слова: быстрое небное расширение, MARPE, верхние дыхательные пути, КЛИТ, риноманометрия, NOSE, подростки, носовая полость, носоглотка

Вклад авторов: О. М. Мрикаева — концепция и дизайн исследования, научное руководство, редактирование текста; Ф. Т. Ахматова, М. Р. Какаева, Е. У. Расуханова — сбор клинического материала, формирование базы данных, статистическая обработка, подготовка рукописи; С. С-Х. Эльмурзаев, Б. Х. Джабраилов, С. Т. Юсупова, С. Л. Тугуева, С. М. Идрисова — анализ литературы, проведение морфометрических и функциональных измерений, оформление рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО СОГМА Минздрава России (протокол № 4 от 18 сентября 2025 г.). Добровольное информированное согласие было подписано родителями (законными представителями) всех несовершеннолетних участников; подростки дали согласие на участие в обследовании и обработку обезличенных данных.

✉ **Для корреспонденции:** Оксана Масалбековна Мрикаева
ул. Ватутина, 44–46, г. Владикавказ, 362025, Россия, Республика Северная Осетия — Алания; mrikaeva-o@yandex.ru

Статья получена: 19.03.2026 **Статья принята к печати:** 05.05.2026 **Опубликована онлайн:** 18.05.2026

DOI: 10.24075/vrgmu.2026.022

Авторские права: © 2026 принадлежат авторам. **Лицензиат:** РНИМУ им. Н. И. Пирогова. Статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONAL CHANGES IN THE UPPER RESPIRATORY TRACT FOLLOWING RAPID PALATAL EXPANSION IN ADOLESCENTS

Mrikaeva OM¹✉, Akhmatova FT¹, Kakaeva MR¹, Rasukhanova EU¹, Elmurzaev SS-Kh², Dzhabrailov BKh², Yusupova ST², Tugueva SL², Idrisova SM²

¹ North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov, Vladikavkaz, Russia

² North Ossetian State Medical Academy, Vladikavkaz, Russia

Rapid palatal expansion may affect not only maxillary dimensions but also upper airway patency in adolescents; however, the role of tooth-supported and miniscrew-assisted appliances remains to be clarified. This study aimed to assess morphological and functional changes in the upper respiratory tract associated with rapid palatal expansion and to compare these changes between the use of Hyrax and MARPE systems. We conducted a prospective pilot study involving 24 adolescents aged 12–16 years with transverse maxillary insufficiency. Fourteen participants received Hyrax appliances, while ten received MARPE devices. Time points: T0 — before treatment, T1 — 6 months after completion of activation. The measured indicators were the volume of the nasal cavity, nasopharynx, and oropharynx, the minimum area of the retropalatal level, and the total nasal resistance at 150 Pa. We also calculated the NOSE score. After treatment, the volume of the nasal cavity increased by 14.6% ($p < 0.001$), nasopharyngeal volume by 8.9% ($p = 0.003$), the minimum area of the retropalatal level by 12.1% ($p = 0.012$), total nasal resistance decreased by 24.7% ($p < 0.001$), and NOSE score by 35.4 points ($p < 0.001$). The change in oropharyngeal volume was insignificant ($p = 0.091$). We established no differences between Hyrax and MARPE groups ($p > 0.05$). Rapid palatal expansion improved nasal cavity and nasopharynx parameters. Further comparisons of techniques require a priori sample size calculations.

Keywords: rapid palatal expansion, MARPE, upper airway, CBCT, rhinomanometry, NOSE, adolescents, nasal cavity, nasopharynx

Author contribution: Mrikayeva OM — study concept and design, scientific guidance, text editing; Akhmatova FT, Kakaeva MR, Rasukhanova EU — collection of clinical material, database compilation, statistical processing, manuscript preparation; Elmurzaev SS-Kh, Dzhabrailov BKh, Yusupova ST, Tugueva SL, Idrisova SM — literature analysis, morphometry and functional measurements, manuscript formalization.

Compliance with ethical standards: the study was approved by the local Ethics Committee of North Ossetian State Medical Academy of the Ministry of Health of the Russian Federation (Minutes No. 4 of September 18, 2025). Parents or legal representatives have voluntarily signed informed consent forms for all underage participants; adolescents have consented to medical examination and the processing of anonymized data.

✉ **Correspondence should be addressed:** Oksana M. Mrikayeva
Vatutina, 44-46, Vladikavkaz, 362025, Russia, Republic of North Ossetia — Alania; mrikaeva-o@yandex.ru

Received: 19.03.2026 **Accepted:** 05.05.2026 **Published online:** 18.05.2026

DOI: 10.24075/brsmu.2026.022

Copyright: © 2026 by the authors. **Licensee:** Pirogov University. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Быстрое небное расширение (БНР) применяют у пациентов с трансверзальной недостаточностью верхней челюсти и рассматривают не только как ортодонтический, но и как функциональный метод коррекции нарушенного носового дыхания. Методика, ее возрастные аспекты и варианты со скелетной опорой описаны в отечественных клинических работах [1–4]. Раскрытие срединного небного шва сопровождается увеличением ширины дна полости носа и может приводить к уменьшению сопротивления воздушному потоку, что особенно значимо у подростков с ротовым дыханием, жалобами на заложенность носа и сочетанной ЛОР-патологией [5–7].

Оценка эффекта БНР на верхние дыхательные пути требует сочетания морфологических и функциональных методов. Активная передняя риноманометрия при референс-давлении 150 Па позволяет объективизировать суммарное носовое сопротивление, а шкала NOSE — субъективную выраженность назальной обструкции и клиническую значимость изменений [8, 9]. Влияние носового цикла, сезонных колебаний слизистой оболочки и различий в положении языка может менять показатели проходимости даже при неизменной костной архитектуре, поэтому интерпретация результатов должна быть стандартизирована [10].

При анализе данных конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) клинически значимы не только суммарные объемы полости носа и глотки, но и минимальная площадь поперечного сечения, особенно на ретропалатальном уровне, поскольку именно этот показатель теснее связан с аэродинамикой воздушного потока [11–16]. В то же время изменения ротоглотки после БНР остаются менее предсказуемыми, а возможные преимущества скелетной опоры у подростков требуют аккуратной интерпретации и отдельной статистической верификации [17–19].

Цель исследования — оценить морфофункциональные изменения верхних дыхательных путей у подростков после быстрого небного расширения и сопоставить динамику в зависимости от типа расширителя.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Проведено проспективное пилотное клиническое исследование на базе кафедры стоматологии № 2 и клинической базы ортодонтического профиля в 2024–2025 гг. В исследование включены 24 подростка в возрасте 12–16 лет (средний возраст $13,9 \pm 1,3$ года), из них 14 девочек и 10 мальчиков. Все пациенты имели трансверзальную недостаточность верхней челюсти не менее 4 мм, односторонний или двусторонний перекрестный прикус и жалобы на затруднение носового дыхания различной степени выраженности. Априорный расчет размера выборки не проводили; исследование рассматривали как пилотное и направленное на первичную оценку морфофункциональной динамики и пилотное сопоставление двух вариантов расширения.

Критерии включения: наличие клинических и КЛКТ-признаков сужения верхней челюсти, отсутствие предшествующего ортодонтического лечения, возможность выполнения контрольного обследования через 6 месяцев после завершения активации аппарата. Критерии исключения: врожденные черепно-лицевые аномалии, острые воспалительные заболевания ЛОР-органов на момент включения, выраженная гипертрофия аденоидной ткани, требующая первичного хирургического

лечения, декомпенсированный аллергический ринит, отказ от контрольного обследования.

В 14 наблюдениях использовали зубо-опорный расширитель типа Hyrax, в 10 — мини-винт-ассистированное расширение (MARPE). Активацию выполняли по 0,25 мм 2 раза в сутки до достижения клинической гиперкоррекции; суммарная величина расширения составляла 6–8 мм. После завершения активации аппарат оставляли в качестве ретенционного на 6 месяцев.

Контрольные точки исследования: T0 — до начала лечения; T1 — через 6 месяцев после завершения активации аппарата. Именно сопоставление T0 и T1 использовали для основного анализа. Все инструментальные обследования выполняли на одном и том же штатном оборудовании центра по унифицированному протоколу. Всем пациентам в обеих точках проводили КЛКТ, активную переднюю риноманометрию при референс-давлении 150 Па и анкетирование по шкале NOSE. На КЛКТ оценивали объем полости носа, носоглотки и ротоглотки, а также минимальную площадь поперечного сечения на ретропалатальном уровне. Исследование выполняли в положении естественной головы, при привычной окклюзии и спокойном носовом дыхании. Повторное КЛКТ проводили в рамках клинически обоснованного ортодонтического контроля с соблюдением принципов дозовой оптимизации у подростков [20].

Статистическую обработку и post hoc-оценку мощности выполняли в среде Python 3.11 с использованием библиотек SciPy и statsmodels. Нормальность распределения количественных переменных и величин их изменений ($\Delta = T1 - T0$) проверяли критерием Шапиро–Уилка. При нормальном распределении результаты представляли в виде $M \pm SD$; для парных сравнений между T0 и T1 использовали парный t -критерий Стьюдента, для межгруппового сопоставления изменений между Hyrax и MARPE — t -критерий Стьюдента для независимых выборок. При отклонении от нормальности применяли критерий Уилкоксона и U -критерий Манна–Уитни соответственно. Для межгруппового анализа сопоставляли величины относительных изменений; уровень статистической значимости принимали равным $p < 0,05$. Поскольку исследование носило пилотный характер, априорный расчет размера выборки не проводили. Post hoc-оценка мощности показала, что при общей выборке $n = 24$ парный анализ обеспечивал 80%-ю мощность для выявления не менее чем средне-крупного эффекта ($d \geq 0,60$), тогда как при $n = 14$ и $n = 10$ межгрупповое сопоставление обеспечивало такую же мощность только для выявления очень крупного эффекта ($d \geq 1,21$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полученные количественные данные общей группы представлены в табл. 1, результаты пилотного межгруппового сопоставления относительных изменений — в табл. 2.

После БНР зарегистрировано статистически значимое увеличение объема полости носа и носоглотки. Наиболее выраженная положительная динамика определялась в передних отделах полости носа и по линии носового дна. Изменение объема ротоглотки было небольшим (+3,2%) и в общей группе не достигло статистической значимости ($p = 0,091$).

По данным активной передней риноманометрии суммарное носовое сопротивление снизилось с $0,41 \pm 0,08$ до

Таблица 1. Динамика показателей верхних дыхательных путей в общей группе после БНР

Показатель	До лечения	После лечения	Изменение	<i>p</i>
Объем полости носа, см ³	14,6 ± 2,8	16,7 ± 3,1	+14,6%	< 0,001
Объем носоглотки, см ³	8,9 ± 1,9	9,7 ± 2,0	+8,9%	0,003
Объем ротоглотки, см ³	12,4 ± 2,6	12,8 ± 2,7	+3,2%	0,091
Минимальная площадь ретропалатального уровня, мм ²	126 ± 28	141 ± 31	+12,1%	0,012
Суммарное носовое сопротивление, Па/см ³ /с	0,41 ± 0,08	0,31 ± 0,07	-24,7%	< 0,001
NOSE, баллы	61,4 ± 12,7	26,0 ± 10,8	-35,4 пункта	< 0,001

Примечание: для морфометрических и функциональных показателей приведено относительное изменение по отношению к исходному значению; для шкалы NOSE — абсолютное изменение в пунктах. Дополнительно снижение суммарного балла NOSE составило 57,8% от исходного уровня.

0,31 ± 0,07 Па/см³/с (*p* < 0,001). Клинически это сопровождалось уменьшением выраженности назальной обструкции: средний балл по шкале NOSE снизился с 61,4 ± 12,7 до 26,0 ± 10,8, что соответствует уменьшению на 35,4 пункта, или на 57,8% от исходного уровня. Из 24 пациентов у 19 отмечалось более свободное носовое дыхание уже в первые недели ретенционного периода.

Пилотное межгрупповое сопоставление относительных изменений по показателям, представленным в табл. 2, не выявило статистически значимых различий между Hyrax и MARPE (*p* > 0,05). Вместе с тем в группе MARPE численно отмечались более выраженные морфометрические изменения: прирост минимальной площади ретропалатального уровня составил 15,4 против 9,8% в группе зубо-опорных аппаратов, а увеличение объема полости носа — 16,8 против 13,0% соответственно. Различия по снижению суммарного носового сопротивления между подгруппами были менее выраженными (-27,6 и -22,5%). С учетом ограниченной численности подгрупп и недостаточной мощности настоящего пилотного исследования эти результаты следует интерпретировать как формирующие гипотезу, а не как доказанное преимущество одной методики. Серьезных осложнений не зарегистрировано; отмечались транзиторный дискомфорт, межрезцовая диастема и чувство давления в области опорных элементов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты показывают, что основной эффект БНР у подростков реализуется на уровне полости носа и носоглотки. Это согласуется с литературными данными о расширении средней зоны лица и изменениях перегородки носа у детей, а также с КЛКТ-наблюдениями, указывающими на прямую связь между раскрытием срединного небного шва и увеличением объема верхних дыхательных путей [2, 11, 13–15].

Выявленное снижение суммарного носового сопротивления соответствует классическим исследованиям Hershey, Hartgerink и De Felipe, показавшим, что БНР

может улучшать носовую проходимость как в ближайшие, так и в отдаленные сроки наблюдения [5–7]. Наши данные по минимальной площади ретропалатального уровня и общей тенденции к увеличению объема носоглотки также сопоставимы с результатами трехмерных КЛКТ-исследований, систематических обзоров и метаанализов [12, 14–19].

Небольшая и вариабельная динамика ротоглотки, по-видимому, обусловлена тем, что на этот сегмент влияют не только костные изменения, но и положение языка, вертикальный тип роста, состояние мягкого неба и сопутствующая ЛОР-патология. Поэтому у подростков с выраженной гипертрофией носоглоточной миндалины, остаточной девиацией перегородки или неблагоприятным миофункциональным паттерном ожидать равномерного прироста всех отделов верхних дыхательных путей не следует.

При пилотном межгрупповом сопоставлении в группе MARPE отмечалась тенденция к большей морфометрической динамике, однако ни одно из сопоставленных межгрупповых различий статистической значимости не достигло (*p* > 0,05). Подобное направление изменений соответствует отдельным публикациям по мини-винт-ассистированному расширению [17–19]. Однако в настоящем исследовании малочисленность и неравенство подгрупп, а также ограниченная мощность не позволяют интерпретировать эти наблюдения как доказанное преимущество MARPE; клиническое улучшение носового дыхания наблюдалось при обеих техниках расширения.

Ограничения исследования

К ограничениям настоящего исследования относятся пилотный характер работы, небольшой объем выборки, отсутствие априорного расчета мощности и рандомизации, ограниченный срок наблюдения, а также возможное влияние сезонных колебаний слизистой оболочки носа на функциональные показатели. Post hoc-оценка мощности показала достаточность общей выборки главным образом для выявления крупных внутригрупповых эффектов и недостаточность для

Таблица 2. Пилотное межгрупповое сопоставление относительных изменений после БНР

Показатель	Hyrax (<i>n</i> = 14)	MARPE (<i>n</i> = 10)	Численная тенденция	<i>p</i>
Объем полости носа, %	+0,13	+0,168	выше при MARPE	> 0,05
Минимальная площадь ретропалатального уровня, %	+0,098	+0,154	выше при MARPE	> 0,05
Суммарное носовое сопротивление, %	-22,5%	-27,6%	снижение больше при MARPE	> 0,05

Примечание: представлены относительные изменения по отношению к исходному значению по показателям, для которых в подгруппах отмечались наиболее заметные различия по величине эффекта; во всех приведенных межгрупповых сравнениях статистическая значимость не достигнута.

надежного выявления умеренных межгрупповых различий. Подгрупповой анализ Нурах и MARPE носил пилотный характер и не позволяет делать вывод о статистическом преимуществе одной методики. Кроме того, в настоящей работе не были детализированы торговые наименования оборудования, программного обеспечения для КЛКТ-сегментации, дозиметрические параметры и формальная оценка меж- и внутриоператорной воспроизводимости, что ограничивает воспроизводимость исследования. В дальнейшем целесообразны более крупные проспективные исследования со стандартизированной КЛКТ-сегментацией, единым протоколом ринофункционального обследования и длительным ретенционным контролем.

ВЫВОДЫ

Быстрое небное расширение у подростков сопровождается статистически значимым увеличением объема полости

носа и носоглотки, увеличением минимальной площади ретропалатального уровня, снижением суммарного носового сопротивления и уменьшением выраженности назальной обструкции по шкале NOSE. Изменение объема ротоглотки в общей группе было небольшим и статистической значимости не достигло ($p = 0,091$), что указывает на неоднородность ответа разных отделов верхних дыхательных путей на БНР. Пилотное межгрупповое сопоставление Нурах и MARPE по основным морфометрическим и функциональным показателям не выявило статистически значимых различий; отмеченная в группе MARPE более выраженная морфометрическая динамика требует подтверждения в исследованиях с достаточной мощностью. Post hoc-оценка мощности показала, что настоящее исследование было пригодно прежде всего для выявления крупных эффектов; для доказательного сравнения методик необходимы более крупные проспективные работы с априорным расчетом выборки.

Литература

1. Смирнова А. А., Гаврилова О. А., Моторнова Е. В., Михалева И. И., Федорова К. В., Соколова Л. Н. Показания к применению аппаратов быстрого небного расширения на основании данных конусно-лучевой компьютерной томографии (пилотное исследование). *Эндодонтия Today*. 2022; 20 (2): 183–8. DOI: 10.36377/1726-7242-2022-20-2-183-188.
2. Арсенина О. И., Хачиева А. В., Попова Н. В., Попова А. В., Сердиченко А. В. Влияние быстрого небного расширения на изменения параметров средней зоны лица и перегородку носа у детей. *Стоматология*. 2025; 104 (3): 57–65. DOI: 10.17116/stomat202510403157.
3. Симакова А. А., Гизоева Е. А., Гаспарян К. А., Гржибовский А. М., Горбатова М. А. Применение метода быстрого небного расширения в разных возрастных группах: обзор клинических случаев. *Наука и здравоохранение*. 2022; 24 (1): 207–14.
4. Песенко Е. В., Гуненкова И. В., Оспанова Г. Б., Волчек Д. А., Мохирев М. А., Бызов Н. А. Применение скелетной опоры при лечении сужения верхней челюсти у пациентки в сменном прикусе (клинический случай). *Клиническая стоматология*. 2022; 25 (4): 144–8. DOI: 10.37988/1811-153X_2022_4_144.
5. Hershey HG, Stewart BL, Warren DW. Changes in nasal airway resistance associated with rapid maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics*. 1976; 69 (3): 274–84. DOI: 10.1016/0002-9416(76)90076-2.
6. Hartgerink DV, Vig PS, Abbott DW. The effect of rapid maxillary expansion on nasal airway resistance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1987; 92 (5): 381–9. DOI: 10.1016/0889-5406(87)90258-7.
7. De Felipe NLO, da Silveira AC, Viana G, Kusnoto B, Smith B, Evans CA. Relationship between rapid maxillary expansion and nasal cavity size and airway resistance: short- and long-term effects. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2008; 134 (3): 370–82. DOI: 10.1016/j.ajodo.2006.10.034.
8. Stewart MG, Witsell DL, Smith TL, Weaver EM, Yueh B, Hannley MT. Development and validation of the Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE) scale. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*. 2004; 130 (2): 157–63. DOI: 10.1016/j.otohns.2003.09.016.
9. Clement PAR. Rhinomanometry. *Allergy*. 1997; 52 (33 Suppl): 26–27. DOI: 10.1111/j.1398-9995.1997.tb04801.x.
10. Шиленкова В. В., Федосеева О. В. Носовой цикл. *Российская ринология*. 2019; 27 (3): 141–7. DOI: 10.17116/rosrino201927031141.
11. El H, Palomo JM. Three-dimensional evaluation of upper airway following rapid maxillary expansion: a CBCT study. *Angle Orthodontist*. 2014; 84 (2): 265–73. DOI: 10.2319/012313-71.1.
12. Buck LM, Dalci O, Darendeliler MA, Papageorgiou SN, Papadopoulou AK. Volumetric upper airway changes after rapid maxillary expansion: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Orthodontics*. 2017; 39 (5): 463–73. DOI: 10.1093/ejo/cjw048.
13. Ribeiro ANC, de Paiva JB, Rino Neto J, Illipronti-Filho E, Trivino T, Fantini SM. Upper airway expansion after rapid maxillary expansion evaluated with cone beam computed tomography. *Angle Orthodontist*. 2012; 82 (3): 458–63. DOI: 10.2319/030411-157.1.
14. Zeng J, Gao X. A prospective CBCT study of upper airway changes after rapid maxillary expansion. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2013; 77 (11): 1805–10. DOI: 10.1016/j.ijporl.2013.07.028.
15. Chang Y, Koenig LJ, Pruszyński JE, Bradley TG, Bosio JA, Liu D. Dimensional changes of upper airway after rapid maxillary expansion: a prospective cone-beam computed tomography study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2013; 143 (4): 462–70. DOI: 10.1016/j.ajodo.2012.11.019.
16. Izuka EN, Feres MFN, Pignatari SSN. Immediate impact of rapid maxillary expansion on upper airway dimensions and on the quality of life of mouth breathers. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2015; 20 (3): 43–49. DOI: 10.1590/2176-9451.20.3.043-049.oar.
17. Li Q, Tang H, Liu X, Luo Q, Jiang Z, Martin D, et al. Comparison of dimensions and volume of upper airway before and after mini-implant assisted rapid maxillary expansion. *Angle Orthodontist*. 2020; 90 (3): 432–41. DOI: 10.2319/080919-522.1.
18. Mehta S, Wang D, Kuo C-L, Mu J, Vich ML, Allareddy V, et al. Long-term effects of mini-screw-assisted rapid palatal expansion on airway: a three-dimensional cone-beam computed tomography study. *Angle Orthodontist*. 2021; 91 (2): 195–205. DOI: 10.2319/062520-586.1.
19. Li L, Zhai M, Wang M, Cui S, Cheng C, Wang J, Wei F. Three-Dimensional Evaluation Effects of Microimplant-Assisted Rapid Palatal Expansion on the Upper Airway Volume: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*. 2023; 12 (5): 1790. DOI: 10.3390/jcm12051790.
20. Oenning AC, Jacobs R, Pauwels R, Stratis A, Hedesiu M, Salmon B. DIMITRA Research Group. Cone-beam CT in paediatric dentistry: DIMITRA project position statement. *Pediatric Radiology*. 2018; 48 (3): 308–16. DOI: 10.1007/s00247-017-4012-9.

References

- Smirnova AA, Gavrilova OA, Motomova EV, Mikhaleva II, Fedorova KV, Sokolova LN. Indications for treatment of rapid palatal expansion devices based on cone-beam computed tomography (pilot study). *Endodontiya Today*. 2022; 20 (2): 183–8. DOI: 10.36377/1726-7242-2022-20-2-183-188. Russian.
- Arsenina OI, Khachieva AV, Popova NV, Popova AV, Serdichenko AV. Effect of rapid palatal expansion on changes in midface parameters and nasal septum in children. *Stomatologiya*. 2025; 104 (3): 57–65. DOI: 10.17116/stomat202510403157. Russian.
- Simakova AA, Gizoeva EA, Gasparyan KA, Grzhibovskii AM, Gorbatova MA. Rapid maxillary expansion in different age-groups: a case-series presentation. *Nauka i zdravookhranenie*. 2022; 24 (1): 207–14. Russian.
- Pesenko EV, Gunenkova IV, Ospanova GB, Volchek DA, Mokhirev MA, Byzov NA. The skeletal anchorage in the orthodontic treatment of constricted maxilla in the early mixed dentition: a case report. *Klinicheskaya stomatologiya*. 2022; 25 (4): 144–8. DOI: 10.37988/1811-153X_2022_4_144. Russian.
- Hershey HG, Stewart BL, Warren DW. Changes in nasal airway resistance associated with rapid maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics*. 1976; 69 (3): 274–84. DOI: 10.1016/0002-9416(76)90076-2.
- Hartgerink DV, Vig PS, Abbott DW. The effect of rapid maxillary expansion on nasal airway resistance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1987; 92 (5): 381–9. DOI: 10.1016/0889-5406(87)90258-7.
- De Felipe NLO, da Silveira AC, Viana G, Kusnoto B, Smith B, Evans CA. Relationship between rapid maxillary expansion and nasal cavity size and airway resistance: short- and long-term effects. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2008; 134 (3): 370–82. DOI: 10.1016/j.ajodo.2006.10.034.
- Stewart MG, Witsell DL, Smith TL, Weaver EM, Yueh B, Hannley MT. Development and validation of the Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE) scale. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*. 2004; 130 (2): 157–63. DOI: 10.1016/j.otohns.2003.09.016.
- Clement PAR. Rhinomanometry. *Allergy*. 1997; 52 (33 Suppl): 26–27. DOI: 10.1111/j.1398-9995.1997.tb04801.x.
- Shilenkova VV, Fedoseeva OV. Nosovoy cikl. *Rossiyskaya rinologia*. 2019; 27 (3): 141–7. DOI: 10.17116/rosrino201927031141. Russian.
- El H, Palomo JM. Three-dimensional evaluation of upper airway following rapid maxillary expansion: a CBCT study. *Angle Orthodontist*. 2014; 84 (2): 265–73. DOI: 10.2319/012313-71.1.
- Buck LM, Dalci O, Darendeliler MA, Papageorgiou SN, Papadopoulou AK. Volumetric upper airway changes after rapid maxillary expansion: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Orthodontics*. 2017; 39 (5): 463–73. DOI: 10.1093/ejo/cjw048.
- Ribeiro ANC, de Paiva JB, Rino Neto J, Illipronti-Filho E, Trivino T, Fantini SM. Upper airway expansion after rapid maxillary expansion evaluated with cone beam computed tomography. *Angle Orthodontist*. 2012; 82 (3): 458–63. DOI: 10.2319/030411-157.1.
- Zeng J, Gao X. A prospective CBCT study of upper airway changes after rapid maxillary expansion. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2013; 77 (11): 1805–10. DOI: 10.1016/j.ijporl.2013.07.028.
- Chang Y, Koenig LJ, Pruszyński JE, Bradley TG, Bosio JA, Liu D. Dimensional changes of upper airway after rapid maxillary expansion: a prospective cone-beam computed tomography study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2013; 143 (4): 462–70. DOI: 10.1016/j.ajodo.2012.11.019.
- Izuka EN, Feres MFN, Pignatari SSN. Immediate impact of rapid maxillary expansion on upper airway dimensions and on the quality of life of mouth breathers. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2015; 20 (3): 43–49. DOI: 10.1590/2176-9451.20.3.043-049.oar.
- Li Q, Tang H, Liu X, Luo Q, Jiang Z, Martin D, et al. Comparison of dimensions and volume of upper airway before and after mini-implant assisted rapid maxillary expansion. *Angle Orthodontist*. 2020; 90 (3): 432–41. DOI: 10.2319/080919-522.1.
- Mehta S, Wang D, Kuo C-L, Mu J, Vich ML, Allareddy V, et al. Long-term effects of mini-screw-assisted rapid palatal expansion on airway: a three-dimensional cone-beam computed tomography study. *Angle Orthodontist*. 2021; 91 (2): 195–205. DOI: 10.2319/062520-586.1.
- Li L, Zhai M, Wang M, Cui S, Cheng C, Wang J, Wei F. Three-Dimensional Evaluation Effects of Microimplant-Assisted Rapid Palatal Expansion on the Upper Airway Volume: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*. 2023; 12 (5): 1790. DOI: 10.3390/jcm12051790.
- Oenning AC, Jacobs R, Pauwels R, Stratis A, Hedesiu M, Salmon B. DIMITRA Research Group. Cone-beam CT in paediatric dentistry: DIMITRA project position statement. *Pediatric Radiology*. 2018; 48 (3): 308–16. DOI: 10.1007/s00247-017-4012-9.