DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2026.21.005
文章编号：1005-8982（2026）21-0032-06

综述

儿童及青少年上颌快速扩弓后颌面软硬组织改变的研究进展*

谢秒秒[1]，樊佳兵[2]，付雪飞[2]
（1.贵州医科大学 口腔医学院，贵州 贵阳 550004；2.贵州医科大学附属口腔医院正畸科，贵州 贵阳 550004）

摘要：上颌骨横向发育不足（MTD）是儿童及青少年群体中常见的错𬌗畸形，上颌快速扩弓（RME）是临床主要的早期矫治方式。本文汇总近年相关研究，总结RME术后颌面软硬组织、牙体、牙周、鼻气道及颞下颌关节的改建特征。多数研究结果显示：RME可有效打开腭中缝，增大上颌基底及后牙区宽度；术后面部软组织仅出现鼻翼小幅增宽，唇部形态与面部侧貌未发生明显不良改变；同时可扩大鼻腔容积、改善鼻通气状况。生长发育期患者接受RME矫治后总体预后良好，不良反应可控，能够实现骨性畸形矫正，同步改善面部美观、口腔功能与鼻气道通气，是临床早期矫治MTD的可靠方法。

关键词：上颌骨横向发育不足；上颌快速扩弓；腭中缝；正畸治疗
中图分类号：R783.5　　**文献标识码：**A

Research progress on craniomaxillofacial hard and soft tissue changes after rapid maxillary expansion in children and adolescents*

Xie Miao-miao[1], Fan Jia-bing[2], Fu Xue-fei[2]
(1. School of Stomatology, Guizhou Medical University, Guiyang, Guizhou 550004, China; 2. Department of Orthodontics, Affiliated Stomatological Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang, Guizhou 550004, China)

Abstract: Maxillary transverse deficiency (MTD) is a common malocclusion in children and adolescents, and rapid maxillary expansion (RME) is a principal early treatment. This article summarizes recent studies on the remodeling of maxillofacial hard and soft tissues, teeth, periodontal tissues, the nasal airway, and the temporomandibular joint after RME. Most studies indicate that RME effectively opens the midpalatal suture and increases the widths of the maxillary base and posterior dental arch. After RME, facial soft-tissue changes are limited to slight widening of the alar base, with no obvious adverse changes in lip morphology or facial profile. RME also increases nasal cavity volume and improves nasal ventilation. Overall, RME in growing patients has a favorable prognosis and controllable adverse effects; it can correct skeletal deformities while improving facial aesthetics, oral function, and nasal ventilation and is a reliable early treatment for MTD.

Keywords: maxillary transverse deficiency; rapid maxillary expansion; midpalatal suture; orthodontic treatment

收稿日期：2026-05-11
* 基金项目：贵州省科技计划项目（黔科合成果〔2026〕244号）
[通信作者] 付雪飞，E-mail：2405465771@qq.com

上颌骨横向发育不足（maxillary transverse deficiency, MTD）是儿童及青少年常见的错𬌗畸形，主要表现为后牙反𬌗、牙弓狭窄及腭盖高拱，部分患者可伴有前牙代偿性唇向倾斜或闭锁性深覆合[1]。MTD 不仅影响口腔生理功能，还可导致鼻通气阻力增加及颞下颌关节紊乱，并对患者颌骨发育、颜面部美观及心理健康造成不良影响[2]。上颌快速扩弓（rapid maxillary expansion, RME）是矫治 MTD 的主要方法，其利用青春发育高峰前或高峰期患者腭中缝尚未完全骨化的特点，施加横向机械力打开腭中缝，促使上颌骨向两侧移动以扩大牙弓[3]。RME 临床应用广泛，在生长发育期患者的疗效确切，但其引发的生理改变复杂多维，扩张力可传递至整个颅面复合体，导致牙、骨、软组织协同或差异性改建。年龄及骨骼发育状态是影响矫治效果及远期稳定性的重要因素。目前国内外已有较多研究探讨 RME 的临床疗效与组织改变，但较少梳理 RME 术后多组织同步改建的特点。基于此，本文依据腭中缝发育成熟特点、牙列及生长发育阶段，纳入 6 ~ 12 岁替牙期儿童及 12 ~ 15 岁恒牙早期青少年为研究对象，总结该年龄段人群行 RME 矫治后颅颌面各解剖结构的改建特征，重点分析上颌扩弓变化、牙列牙周代偿改建、软组织、鼻气道结构及颞下颌关节改变，以期为儿童青少年 MTD 的精准、安全及规范化临床矫治提供理论参考。

1　颌骨

RME 的横向变化主要集中在腭中缝，而关于腭中缝存在三角形与平行分离两种形态的争议，其可能与扩弓器类型、患者年龄相关。Barbosa 等[4]采用 Hyrax 扩弓器行 RME 观察，发现腭中缝呈前大后小的三角形展开。Ara ú jo 等[5]发现，使用黏结式 Haas 扩弓器可观察到腭中缝平行分离。Kinzinger 等[6]结合临床病例研究认为，腭中缝的扩开形态取决于开始治疗时患者的年龄，以第一前磨牙完全萌出及恒牙初期为分界点，年轻组腭中缝扩开后大致平行，而年长组呈三角形。此外，针对 15 岁以上、腭中缝已发生骨性融合的青少年与成人，微种植钉辅助 RME 可将矫治力直接传导至上颌骨，矫治后腭中缝的骨性扩弓量呈前大后小分布，整体呈“V”形[7]。因此，腭中缝扩开的形态并非固定模式，扩弓器类型、支抗方式、年龄及腭中缝发育状态是导致研究结论差异的主要因素，影像学方法及观测时间的不同亦可导致研究结果的差异。RME 过程中不仅发生上颌横向增宽，还可能伴随矢状向与垂直向的改变。Si 等[8]研究发现，RME 后 6 个月面中部软硬组织深度增加，认为该面深增量包含 RME 带来的额外骨性增量。另有研究在 RME 后未观察到上颌骨垂直向显著改变[9]，推测保持期出现的垂直向变化可能与患者自身生长发育有关。同时，部分学者认为，RME 对上颌骨的长期影响以横向增宽为主，矢状向与垂直向改变较小，不具有显著临床意义[10]。除此之外，有研究发现 RME 还会引发下颌骨、颧骨、骨缝等相邻骨结构的变化，出现下颌骨位置向下、向后旋转，伴随下颌平面的顺时针方向旋转。由于颧骨与上颌骨直接毗邻，RME 时倾向于与上颌骨一同向外旋转并发生一定的侧向移位[11]。Ahmida 等[12]通过影像学测量发现，RME 仅可在短期内显著拓宽青少年鼻额缝、鼻上颌缝、颌间缝等颅面前部骨缝，而颧额缝、颧颞缝、翼上颌缝等颅面后部骨缝无明显增宽，说明 RME 的矫形力主要作用于颅面前部骨缝；长期随访研究进一步证实，上述骨缝改建效应无法长期维持，认为 RME 带来的颅面骨缝改变仅为暂时性的生理适应。总体而言，RME 矫治相关研究结论存在一定异质性，主要源于多种混杂因素：不同研究纳入患者的错𬌗类型及生长发育阶段存在差异，直接影响扩弓后组织改建效果；各研究观测时点不统一，分别关注术后即刻结构变化及保持期远期改建稳定性，造成结果不一致；同时，影像学检测设备、评估标准、样本量及患者颅面解剖的个体差异，亦会干扰量化指标，进而导致研究结论存在分歧。

2　牙弓及牙周组织

2.1　牙弓维度改变及牙性代偿

儿童及青少年时期腭中缝未完全骨化，骨组织改建潜力较大。RME 可有效打开腭中缝，增加上颌牙弓宽度，并引发相应的牙性代偿反应。Colino 等[13]通过锥形束计算机断层扫描（cone beam computed tomography, CBCT）对生长期患者进行观测，发现 RME 后，磨牙间宽度平均增加（5.21 ± 1.55）mm；同时牙弓在牙根、牙冠层面的周长均显著增长，其中牙根周长平均增加（2.89 ± 1.80）mm，牙冠周长平均增加（3.42 ± 2.09）mm，且牙根周长与牙冠周长存在显著相关性。相较而言，成人患者腭中缝已基本骨化，骨改建能力大幅下降，RME 主要表现为磨牙及牙槽骨的颊侧倾斜。再者，An 等[14]对比青少年与成

人接受传统牙支抗式RME后的软硬组织变化发现，RME治疗后上颌第一恒磨牙颊向倾斜角与年龄呈正相关：青少年患者因腭中缝骨性分离占比更高，牙性倾斜程度相对较轻；而成年患者腭中缝骨融合程度较高，骨性扩宽难度增加，牙性倾斜成为主要的扩宽方式。

2.2 恒牙萌出及牙根发育

已有研究探讨了RME对恒牙萌出及牙根发育方面的潜在影响，认为替牙期实施RME不会阻碍恒牙牙根发育，反而能有效拓宽上颌牙弓，为恒牙萌出及发育创造更充足的空间[15]。对于牙根已基本发育完成或处于发育后期的恒牙，RME产生的矫治力可促使其发生生理性移动，此过程中可能伴随牙根表面极微量吸收，但该吸收程度通常在生理可承受范围内，不会对牙根健康造成明显损害[16]。此外，Dodeja等[17]研究提出，治疗期间年轻恒牙自身存在一种保护机制，可有效规避RME对牙根发育的负面影响，进一步证实了儿童及青少年时期实施RME在牙体发育层面的安全性。RME治疗中，支抗牙的选择与牙列发育阶段密切相关，在乳牙列期和替牙早期，第一恒磨牙尚未完全萌出，牙根发育不充分，而乳磨牙在牙根长度等于牙冠长度之前，能够承受扩弓器施加的矫形力，此阶段以乳磨牙为支抗牙。有研究报道，以第二乳磨牙为支抗时，双侧上颌尖牙间距增加，牙弓前段扩展效果更明显，磨牙牙性代偿减少，而未被作为支抗牙的上颌第一恒磨牙则会出现一定程度的舌倾和远端旋转[18]。随着牙列发育进入替牙中晚期及恒牙早期，乳磨牙开始松动，第一恒磨牙逐渐完全萌出，牙根发育成熟，支抗稳定性强，成为RME治疗的主要支抗牙；相较于乳磨牙支抗，恒磨牙支抗扩弓效率更高，更有利于牙弓后段宽度的增加。

2.3 牙髓与牙周组织

RME的机械力作用于支抗牙及周围支持组织，诱发牙髓与牙周组织产生一系列适应性改建。基于CBCT的研究显示，RME治疗后可观察到患者后牙牙髓腔体积减小，前磨牙及磨牙出现牙根缩短改变，其中以上颌第一磨牙的牙髓腔体积与腭根长度变化最为显著[19]。在牙周组织方面，无论采用牙支持式还是骨支持式扩弓器，均可在支抗牙颊侧观察到骨厚度和边缘骨水平的显著降低。需要明确的是，上述牙根轻微吸收、牙槽骨厚度改变及牙髓腔体积变化多为影像学可测量的适应性改建，多数改变程度较轻，并不等同于具有临床意义的不良并发症，其临床影响仍需结合个体牙周基础状况、扩弓总量、矫治速率及长期随访结果综合判断。仅当牙槽骨吸收及牙根吸收超出生理性适应范围时，才会在一定程度上增加牙髓钙化、重度牙根吸收及骨开窗、骨开裂等临床并发症风险[4]。与此同时，RME的机械应力可激活牙周组织的早期炎症及骨改建反应，龈沟液中细胞因子（如IL-1β、TGF-β_1、PGE_2、NO等）在扩弓后10 d达到峰值；即使经过3个月保持期，牙周张力侧骨改建相关因子仍处于较高水平，表明3个月保持期不足以完成腭中缝及牙周骨组织的成熟改建，存在复发风险[20]。因此，从临床角度而言，RME矫治需秉持个体化、精准化原则，矫治前需通过CBCT等影像学检查全面评估患者牙根发育状态、牙根与牙槽骨的解剖关系及牙周基础条件；矫治过程中定期复查影像学，监测后牙倾斜角度、牙弓宽度及牙周组织改建情况，及时调整扩弓节奏与力度，可有效规避过度改建引发的临床不良并发症，在保障扩弓矫治效果的同时，最大限度地维护牙髓及牙周组织健康。

3 面部软组织的变化

3.1 唇部及面下1/3长度区域

既往研究已明确RME相关硬组织结构的变化，但软组织改建未必与底层硬组织的改变呈协同性。RME完成后，受上颌牙弓横向扩张的牵拉作用，患者上下唇软组织会发生横向及矢状向的形态与位置改变。有研究发现，RME术后患者口裂宽度呈统计学意义上的显著增大[21]。此外，RME亦对颜面垂直向维度产生影响，RME可通过诱导下颌骨向下、向后旋转，引发面下1/3长度暂时性增加；但Horne等[10]进一步分析发现，RME装置未对患者的面下高及全面高产生显著影响。综合现有研究结果可见，RME治疗后，患者唇部及面下1/3长度可出现细微形态改变，但变化幅度微弱且多为暂时性，不仅不具备临床意义，亦难以通过肉眼被专业人士及普通民众察觉，因此RME对颜面软组织形态的长期影响十分有限。

3.2 鼻部外形

鼻部形态主要由鼻骨性支架决定，骨性结构的改建可引起鼻外形的改变[22]。一项纳入20例受试者的前瞻性临床研究显示，上颌扩弓可引起鼻部骨

性结构改变，鼻翼基底宽度增加 0.7 ~ 1.8 mm[13]。Venezia 等[23]通过 CBCT 回顾性研究对比了牙支抗与骨支抗 RME 的疗效，发现骨支抗组骨性横向扩张幅度更大；同时，两种扩弓方式所致的鼻翼基底宽度及鼻翼宽度增幅均较小。上述结果间接表明，鼻翼软组织仅能随上颌骨扩弓发生一定限度的代偿性牵拉，超过临界阈值后软组织不再同步拓宽；且随着后续生长发育的持续进行，该增量会逐渐衰减并回归至正常水平。在鼻部矢状向改变方面，Altorkat 等[24]观察到 RME 术后鼻尖可出现后缩、变平。另有研究发现，鼻唇角及鼻突度等指标呈小幅增加[23]；但现有多数研究认为，RME 对鼻部矢向前突形态无显著影响。根据现有影像学与临床观察结果可知，RME 对鼻部外形的改建作用有限。RME 虽可拓宽鼻骨性基底、小幅增加鼻翼宽度，但软组织改变存在代偿上限，两种扩弓方式带来的鼻翼增量均无显著美学意义；鼻尖、鼻唇角等矢状鼻部指标存在个体小幅波动，无持续性改建趋势，临床无须顾虑扩弓会永久破坏鼻部美观。不过当前相关研究普遍存在样本量偏小、远期随访数据匮乏的问题，仍需大样本、长周期三维影像研究进一步明确扩弓对鼻软硬组织的长期影响。

4　鼻部结构与功能

RME 增加腭部横向宽度，其效应不仅局限于上颌骨及腭骨，还可诱导邻近鼻腔及鼻旁结构发生横向位移，增大鼻腔宽度及容积。一项针对上颌发育不足并伴有口呼吸的儿童开展的对照研究显示，RME 术后鼻腔容积及横截面积均显著增加[25]。Giudice 等[26]研究显示，RME 鼻腔容积增加 1.68 cm^3、鼻腔宽度增加 3.13 mm；慢速上颌扩弓（slow maxillary expansion, SME）鼻腔容积增加 1.25 cm^3、宽度增加 2.67 mm。RME 与 SME 均能拓宽鼻腔，并增大鼻腔容积，RME 的鼻腔扩容量更大。经影像学与睡眠监测联合评估进一步证实，RME 带来的鼻骨性拓宽可增加鼻腔整体容积，减轻鼻腔通气梗阻，从结构上改善儿童鼻呼吸状态[27]。值得关注的是，MTD 本身常合并鼻腔狭窄、鼻通气截面积不足的形态特征，这也是 RME 能够有效改善鼻气道通气功能的解剖学基础。鼻腔通气结构的改变除影响呼吸功能外，还可能对上呼吸道嗅觉感知产生一定影响。Malara 等[28]在 RME 术后 6 个月进行嗅觉测试显示，患者气味分辨能力显著提升，推测可能得益于 RME 增大鼻腔容积、改善鼻腔气流，从而促进气味分子到达嗅上皮。但现有文献结论尚存分歧，部分研究并未观察到嗅觉指标的明显改变[29]。不过，更多针对性的临床研究，如患者主观感受调研[30]、睡眠呼吸暂停患者多导睡眠监测指标变化分析[31]等，均为 RME 的潜在气道功能改善作用提供了有力证据。Satto 等[32]长期随访的数据也进一步证实了 RME 对鼻腔通气功能改善的稳定性和持久性。尽管 RME 有助于改善上气道通畅性及儿童鼻呼吸功能障碍，但应被视为辅助治疗手段[33]，需在解决腺样体、扁桃体肥大等原发病因后实施。相较于传统牙支持式 RME，微种植钉辅助快速扩弓（mini-implant assisted rapid palatal expansion, MARPE）依托骨性支抗，可将扩弓力直接作用于上颌骨及鼻底骨性基底，对于腭中缝趋于闭合的大龄患者，能够更高效地打开腭中缝、拓宽鼻腔骨性宽度。Fang 等[7]的回顾性研究发现，MARPE 可有效解除鼻腔及鼻咽段气道狭窄，显著改善鼻气道通气条件，且其气道改善效应主要集中于鼻咽部，对口咽及喉咽气道无明显改建作用，这一特点与传统 RME 的气道改建规律基本一致。MARPE 突破了传统 RME 仅适用于儿童及青少年的治疗局限，对腭中缝趋于闭合的大龄人群仍可实现有效的鼻气道扩容，弥补了传统术式在大龄患者扩弓及气道改善效果有限的短板。作为传统 RME 技术的优化与补充，MARPE 现已成为矫治生长发育高峰期后及成年患者 MTD 的重要矫治手段。

5　颞下颌关节

现有研究发现，上颌扩弓施加于腭中缝的机械力大小及加力速率均可引发下颌骨位置偏移，使髁突承受功能性负荷并发生适应性骨改建；同时，上颌快速横向扩展可改变咬合关系，导致牙齿尖窝交错关系异常及髁突负荷状态改变[34]。既往文献指出，功能性后牙反𬌗（functional posterior crossbite, FPXB）患者多存在下颌功能性偏移、双侧髁突位置不对称等特征，而 RME 可有效矫正上述咬合与关节异常[35]。Torres 等[36]归纳了 RME 可能对颞下颌关节产生的影响：RME 可调整髁突与关节窝的相对位置，不改变关节盘的空间位置与形态，且能够维持双侧髁突对称性。但需注意，RME 短期扩弓效果虽显著，可快速消除咬合干扰及矫正下颌功能性偏移，然而，目前支撑该矫治方法的高质量随机对照试验匮乏，证据强度较低，临床选用 RME 矫治功能

性后牙反𬌗需持谨慎态度。然而，针对青少年患者的 CBCT 研究却得出了相反结论。该研究发现，RME 矫治后颞下颌关节各间隙出现了增宽：前后关节间隙分别增加 0.4 mm，上关节间隙增加 0.4 mm，内侧关节间隙增加 0.3 mm，表明 RME 可拓宽关节间隙，并诱发颞下颌关节复合体功能性重塑[37]。此外，术后髁突出现明显的向前、向下移位，前移量为 1.2 mm，下移量为 0.9 mm，提示 RME 同样会影响髁突在矢状向和垂直向的位置。基于上述证据，临床对生长发育期儿童、青少年实施 RME 时，应依托术前 CBCT 全面评估髁突初始位置、关节间隙及咬合关系，并在治疗中动态监测颌骨与髁突的位置变化，合理调控扩弓加力节奏，从而在矫正后牙反𬌗的同时，有效降低远期颞下颌关节功能异常的风险。

6 结语

本文围绕儿童及青少年生长发育特点，系统梳理了 RME 对颌面软硬组织、牙列、牙周、鼻气道及颞下颌关节的影响，但受患者年龄、牙列阶段、扩弓器类型等因素影响，相关研究结论存在一定异质性，并非适用于所有临床矫治场景。基于上述证据并结合临床实际，应从治疗前、中、后 3 个阶段规范 RME 操作，以提升矫治的精准度与安全性。治疗前，通过骨龄评估及 CBCT 检查，明确患者生长潜力与解剖条件，制订个体化扩弓方案；治疗中，严格控制扩弓总量与速率，借助影像学手段动态监测支抗牙倾斜度、牙槽骨改建及上颌骨扩开形态，及时调整方案；治疗后，根据患者年龄及扩弓量制订个体化保持方案，并建立长期随访机制，持续追踪颌骨、牙弓、气道及关节的远期改建效果，评估矫治稳定性，从而降低复发风险。

参 考 文 献：

[1] Chamberland S. Maxillary expansion in nongrowing patients. Conventional, surgical, or miniscrew-assisted, an update[J]. J World Fed Orthod, 2023, 12(4): 173-183.

[2] 贺红. 早期矫治的扩弓治疗及常见误区[J]. 中华口腔医学杂志, 2025, 60(12): 1337-1343.

[3] 顾叶婷, 刘曙, 张军梅. 腭中缝成熟度评估体系与颅颌面骨缝发育关联性的研究进展[J]. 中国现代医学杂志, 2026, 36(6): 34-40.

[4] Barbosa M A N, Fernandes L Q P, Vilani G N L, et al. Changes in the pterygopalatine and midpalatal sutures after rapid palatal expansion with tooth-bone-borne (MARPE) and tooth-borne (hyrax) appliances[J/OL]. Orthod Craniofac Res, 2026-02-19. https://doi.org/10.1111/ocr.70104.

[5] Araújo M C, Bocato J R, Oltramari P V P, et al. Tomographic evaluation of dentoskeletal effects of rapid maxillary expansion using Haas and Hyrax palatal expanders in children: a randomized clinical trial[J]. J Clin Exp Dent, 2020, 12(10): e922-e930.

[6] Kinzinger G S M, Lisson J A, Buschhoff C, et al. Impact of rapid maxillary expansion on palatal morphology at different dentition stages[J]. Clin Oral Investig, 2022, 26(7): 4715-4725.

[7] Yi F, Liu S L, Lei L, et al. Changes of the upper airway and bone in microimplant-assisted rapid palatal expansion: a cone-beam computed tomography (CBCT) study[J]. J Xray Sci Technol, 2020, 28(2): 271-283.

[8] Si J P, Hu X Y, Du Y, et al. Rapid maxillary expansion treatment increases mid-facial depth in early mixed dentition[J]. Front Pediatr, 2023, 10: 1028968.

[9] Barone S, Bennardo F, Diodati F, et al. Short- and long-term effects of maxillary expander with tongue crib in growing open-bite and skeletal class II patients: a retrospective study[J]. Dent J (Basel), 2024, 12(2): 22.

[10] Horne S, Sung D, Campos H C, et al. Effects of bonded rapid palatal expander on vertical dimension: a systematic review and meta-analysis[J]. J Clin Med, 2025, 14(19): 7035.

[11] Ok U, Kayalar E, Sadry S. Three-dimensional zygomatic changes after rapid maxillary expansion in growing patients[J]. J Orofac Orthop, 2023, 84(3): 147-156.

[12] Ahmida A, Mehta S, Amelemah E, et al. Short-term and long-term effects of miniscrew-assisted and conventional rapid palatal expansion on the cranial and circummaxillary sutures[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2023, 163(4): e115-e126.

[13] Colino-Gallardo P, Del Fresno-Aguilar I, Castillo-Montaño L, et al. Skeletal and dentoalveolar changes in growing patients treated with rapid maxillary expansion measured in 3D cone-beam computed tomography[J]. Biomedicines, 2023, 11(12): 3305.

[14] An J S, Seo B Y, Ahn S J. Differences in dentoskeletal and soft tissue changes due to rapid maxillary expansion using a tooth-borne expander between adolescents and adults: a retrospective observational study[J]. Korean J Orthod, 2022, 52(2): 131-141.

[15] 吴婧琪, 王云霁. 替牙期活动扩弓对恒牙牙根发育及牙根吸收的研究[J]. 重庆医科大学学报, 2024, 49(9): 1175-1180.

[16] Türker G, Öztürk T, Çoban G, et al. Effects of alternate rapid maxillary expansions and constrictions procedures on root development compared to rapid maxillary expansion during orthodontic face mask treatment[J]. BMC Oral Health, 2025, 25(1): 860.

[17] Dodeja T, Alsulaiman A A, Will L A, et al. Orthodontic forces interrupt root formation in immature teeth: myth or fact? A pilot study[J]. Turk J Orthod, 2025, 38(1): 12-19.

[18] Serafin M, Fastuca R, Zecca P A, et al. 3D occlusal changes of upper first molars after rapid maxillary expansion on permanent versus deciduous teeth: a retrospective multicenter CBCT study[J].

Prog Orthod, 2023, 24(1): 24.

[19] Leonardi R, Ronsivalle V, Isola G, et al. External root resorption and rapid maxillary expansion in the short-term: a CBCT comparative study between tooth-borne and bone-borne appliances, using 3D imaging digital technology[J]. BMC Oral Health, 2023, 23(1): 558.

[20] Topal S Ç, Tuncer B B, Elgun S, et al. Levels of cytokines in gingival crevicular fluid during rapid maxillary expansion and the subsequent retention period[J]. J Clin Pediatr Dent, 2019, 43(2): 137-143.

[21] Uzunçıbuk H, Marrapodi M M, Meto A, et al. Photographic analysis of orofacial soft tissue alterations related to rapid maxillary expansion in pediatric patients[J]. J Clin Pediatr Dent, 2024, 48(2): 26-39.

[22] Guyuron B. Precision rhinoplasty. Part II: prediction[J]. Plast Reconstr Surg, 1988, 81(4): 500-505.

[23] Venezia P, Nucci L, Moschitto S, et al. Short-term and long-term changes of nasal soft tissue after rapid maxillary expansion (RME) with tooth-borne and bone-borne devices. A CBCT retrospective study[J]. Diagnostics (Basel), 2022, 12(4): 875.

[24] Altorkat Y, Khambay B S, McDonald J P, et al. Immediate effects of rapid maxillary expansion on the naso-maxillary facial soft tissue using 3D stereophotogrammetry[J]. Surgeon, 2016, 14(2): 63-68.

[25] Badreddine F R, Yamamoto L H, Besen A, et al. Three-dimensional image study of accelerated maxillary expansion in oral breathing kids[J]. Braz J Otorhinolaryngol, 2022, 88(S5): S100-S107.

[26] Lo Giudice A, Fastuca R, Portelli M, et al. Effects of rapid vs slow maxillary expansion on nasal cavity dimensions in growing subjects: a methodological and reproducibility study[J]. Eur J Paediatr Dent, 2017, 18(4): 299-304.

[27] Pirelli P, Fiaschetti V, Mampieri G, et al. Effect of rapid maxillary expansion on nasomaxillary structure and sleep disordered breathing in children with obstructive sleep apnoea[J]. Aust Dent J, 2024, 69(S1): S112-S120.

[28] Malara A, Pucci G A, Maurizi R, et al. Rapid maxillary expansion and olfactory function in growing subjects[J]. Children, 2026, 13(1): 61.

[29] Feng X, Lie S A, Hellén-Halme K, et al. Effect of rapid maxillary expansion on upper airway morphology: a retrospective comparison of normal patients versus patients with enlarged adenoid tissue[J]. J Clin Pediatr Dent, 2021, 45(3): 208-215.

[30] de Tarso Almeida Carvalho P, Junior M C, Wandalsen G F, et al. Rapid maxillary expansion and nasal patency in mouth breathing children with maxillary atresia due to or not due to allergic rhinitis[J]. Allergol Immunopathol (Madr), 2023, 51(4): 55-62.

[31] Inchingolo A D, Marinelli G, Cavino M, et al. Assessment of the effect of rapid maxillary expansion on nasal respiratory function and obstructive sleep apnea syndrome in children: a systematic review[J]. J Clin Med, 2025, 14(18): 6565.

[32] Satto R H U, Sakuma E T I, Ribeiro J D, et al. Long-term structural and functional nasomaxillary evolution of children with mouth-breathing after rapid maxillary expansion: an 8-year follow-up study[J]. Korean J Orthod, 2025, 55(2): 95-104.

[33] Müller-Hagedorn S, Abadie V, Bartzela T. Orthodontic perspectives in the interdisciplinary management of pediatric obstructive sleep apnea[J]. Children (Basel), 2025, 12(8): 1066.

[34] Özkaymaz G S, Çifçi Özkan E. Investigation of changes caused by rapid maxillary expansion in mandibular bone and temporomandibular joint trabecular structure using fractal analysis[J]. BMC Oral Health, 2024, 24(1): 1436.

[35] Alsawaf D H, Almaasarani S G, Hajeer M Y, et al. The effectiveness of the early orthodontic correction of functional unilateral posterior crossbite in the mixed dentition period: a systematic review and meta-analysis[J]. Prog Orthod, 2022, 23(1): 5.

[36] Torres D, Lopes J, Magno M B, et al. Effects of rapid maxillary expansion on temporomandibular joints[J]. Angle Orthod, 2020, 90(3): 442-456.

[37] Verghese Y, R Varshney S, Ghosh T, et al. Effect of rapid palatal expansion on condylar displacement and TMJ space: a CBCT evaluation among pediatric population[J]. Bioinformation, 2025, 21(5): 1098-1102.

（张西倩　编辑）

本文引用格式：谢秒秒, 樊佳兵, 付雪飞. 儿童及青少年上颌快速扩弓后颌面软硬组织改变的研究进展[J]. 中国现代医学杂志, 2026, 36(21): 32-37.

Cite this article as: Xie M M, Fan J B, Fu X F. Research progress on craniomaxillofacial hard and soft tissue changes after rapid maxillary expansion in children and adolescents[J]. China Journal of Modern Medicine, 2026, 36(21): 32-37.