

上前牙区牙槽骨厚度影响因素研究进展

吴建泽^{1,2*}, 戴红卫^{1,2,3#}, 吴 艳^{1,2,3#}

¹重庆医科大学附属口腔医院正畸科, 重庆

²口腔疾病研究重庆市重点实验室, 重庆

³口腔生物医学工程重庆市高校市级重点实验, 重庆

收稿日期: 2025年3月3日; 录用日期: 2025年3月26日; 发布日期: 2025年4月8日

摘 要

在正畸治疗方案的制定过程中, 无论采用何种矫治技术, 目标位的确定必须充分考虑个体的牙移动生物学限制。牙槽骨的厚度在一定程度上决定了正畸牙齿移动的程度, 超过这一限度可能导致牙周支持组织损伤, 严重时甚至引发骨开窗、骨开裂、牙龈萎缩等并发症。因此, 在制定正畸治疗方案时, 应特别关注唇颊/舌腭侧牙槽骨厚度, 尤其是在进行上前牙大量移动时, 需对上颌前牙牙槽骨厚度进行全面评估。上前牙区牙槽骨厚度可能受性别、年龄、咀嚼功能与垂直骨面型、矢状骨面型与前牙倾斜度、牙龈表型、地理环境与种族、鼻腭管、牙周炎等多种因素的影响。本文旨在综述上前牙区牙槽骨厚度影响因素的研究进展, 以期临床实践提供参考。

关键词

上前牙区, 牙槽骨厚度, 咀嚼功能, 骨面型

Research Progress on Influencing Factors of Alveolar Bone Thickness in the Maxillary Anterior Region

Jianze Wu^{1,2*}, Hongwei Dai^{1,2,3#}, Yan Wu^{1,2,3#}

¹Department of Orthodontics, Stomatological Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

²Chongqing Key Laboratory of Oral Diseases, Chongqing

³Chongqing Municipal Key Laboratory of Oral Biomedical Engineering of Higher Education, Chongqing

Received: Mar. 3rd, 2025; accepted: Mar. 26th, 2025; published: Apr. 8th, 2025

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 吴建泽, 戴红卫, 吴艳. 上前牙区牙槽骨厚度影响因素研究进展[J]. 临床个性化医学, 2025, 4(2): 682-690.
DOI: 10.12677/jcpm.2025.42231

Abstract

In the formulation of orthodontic treatment plans, regardless of the type of corrective technique employed, the determination of the target position must take into full consideration the individual biological limitations of tooth movement. The thickness of the alveolar bone largely dictates the extent of orthodontic tooth movement; exceeding this limit may result in damage to the periodontal supporting tissues, potentially leading to complications such as bone fenestration, bone fractures, and gingival recession in severe cases. Therefore, special attention should be paid to the buccal/lingual alveolar bone thickness when developing orthodontic treatment plans, particularly during significant movements of the anterior teeth, necessitating a comprehensive assessment of the alveolar bone thickness in the maxillary anterior region. The alveolar bone thickness in this area may be influenced by various factors, including gender, age, masticatory function, vertical and sagittal skeletal patterns, inclination of the anterior teeth, gingival phenotype, geographic environment and ethnicity, naso-palatine canal, and periodontal disease. This paper aims to review the research progress on the factors affecting the alveolar bone thickness in the maxillary anterior region, with the intention of providing clinical references.

Keywords

Maxillary Anterior Region, Alveolar Bone Thickness, Masticatory Function, Skeletal Pattern

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

正畸治疗过程中, 牙齿移动伴随着牙槽骨的改建, 这是正畸治疗的生物学基础。然而, 牙槽骨的改建并非无限制的。切牙根尖水平的唇、舌侧皮质板可能代表牙齿移动的解剖限制[1]。只有在充分的牙槽骨支持下, 才能确保安全的正畸牙齿移动。超过解剖限制会增加骨开裂、骨开窗、牙龈退缩的风险, 从而显著减少牙齿支撑, 影响牙齿功能和美观。随着成年正畸患者的增加, 相较于青少年, 成人正畸治疗后更易出现牙槽骨吸收[2]。因此, 在进行正畸治疗前, 对上颌前牙区牙槽骨厚度进行全面评估以明确牙齿移动限度、维持健康牙周状况至关重要。探究影响上前牙区牙槽骨厚度的相关因素具有重要的临床意义。

2. 性别对牙槽骨厚度的影响

Firincioglulari M 等研究发现, 上前牙区牙槽骨厚度与性别之间存在相关性[3]。Holm M 等对 431 例健康正畸患者的 CBCT 数据进行分析, 发现男性患者上前牙腭侧骨厚度显著大于女性患者[4]。Chi CC 等研究显示, 在上颌切牙区, 牙根尖附近的唇侧和腭侧骨厚度以及牙根中间位置的腭侧骨厚度在女性中相对较薄[5]。Li B 等对亚洲成人患者的研究发现, 男性上颌前牙的腭侧牙槽骨厚度显著大于女性, 而在唇侧区域, 男性和女性之间无显著统计学差异[6]。这一结果与 Do TA 的研究一致[7]。因此, 在女性患者的上前牙向腭侧移动过程中, 应更加关注牙槽骨的改建情况。Longo BC 等研究发现, 上中切牙、侧切牙处虽男性唇侧牙槽骨厚度大于女性, 但无显著差异[8], 可能与其测量区域只包含距牙槽嵴顶 1 mm、3 mm、5 mm 三个位置, 并取值 3 个位置测量总平均值进行比较, 未行每个测量位置单独比较有关。Rojo-Sanchis

J 等系统性回顾分析发现女性在上颌切牙和尖牙的一些位置显示出唇侧牙槽骨厚度较男性薄[9]。Wan J 等研究显示,在骨性 II 类和骨性 I 类错殆组中,男性的基骨面积均大于女性,同时下颌基骨面积存在显著差异[10]。这一结果可能与男女咀嚼力量差异有关。有学者测量发现,男性的平均咬合力为 190 N,而女性为 50 N [11]。这种差异可能导致牙槽骨功能适应反应代偿性牙槽骨重塑。

3. 年龄对牙槽骨厚度的影响

骨骼在整个生命过程中是一个高度代谢活跃的器官,经历着持续的骨重塑。随着年龄的增长,特别是在女性中期和男性稍晚时期,这一正常平衡的骨重塑过程变得失衡,导致骨质流失和结构衰退,尤其是与绝经开始相伴随的雌激素水平快速下降,进一步加速了骨丧失[12]。Ambrosi 等进一步发现衰老的骨骼干细胞表达高水平细胞因子的基质细胞,这些因子构建促炎微环境引发髓系分化偏移并增强破骨活性,揭示了骨骼衰老过程中骨完整性丧失的关键内在机制[13]。尽管颌面骨的胚胎起源和骨形成与长骨不同,但它们与整体骨骼可能共享相同的代谢趋势[14]。Holm M 等纳入 431 例 9~30 岁健康正畸患者的 CBCT 数据,按年龄分为 9~13 岁、14~18 岁、19~30 岁三组,通过垂直于患者上前牙腭侧骨表面进行牙槽骨厚度测量,结果发现 9~13 岁组牙槽骨平均骨厚度明显小于另外两组,而 14~18 岁组与 19~30 岁组比较,无明显差异[4]。Chi CC 等对 149 例 20~65 岁样本的研究发现,40~65 岁年龄组与较年轻的年龄组相比,上切牙腭侧牙槽骨明显更厚,在距釉牙骨质界 8 mm、12 mm 测量水平发现显著差异;而唇侧牙槽骨在上颌中切牙各测量水平均呈现随年龄增加唇侧牙槽骨厚度变薄的趋势,特别在距釉牙骨质界 12 mm 测量水平发现显著差异;但该研究 40~65 岁年龄组样本量偏少,可能需要更大样本量进行更详细分析[5]。Rojo-Sanchis J 等分析发现,50 岁以上的患者在上颌切牙和尖牙处的唇侧牙槽骨厚度较 50 岁以下者薄[9]。目前关于牙槽骨厚度随年龄变化的纵向数据仍然稀缺,仍需进一步探索。

4. 咀嚼功能与垂直骨面型对牙槽骨厚度的影响

4.1. 咀嚼功能对牙槽骨厚度的影响

遗传和环境因素共同影响颅面部生长发育。Moss 的功能基质假说认为,遗传因素为内在固有,而后天因素和表观遗传病因为外在附加,仅有单一因素是不够的,只有它们结合或相互作用才影响生长发育[15]。Moss 的功能基质假说将功能与形态相结合,形态遵循功能,用来解释骨骼的发育次于肌肉功能、呼吸道的需求和其它外在于骨骼的因素。动物实验表明,喂食软饲料的成年大鼠有一个更高、更窄的牙槽突,其骨小梁的质量和数量较差,在康复组即改变饮食从软到硬的大鼠中,观察到一种“追赶”效应,牙槽骨恢复了宽度,并显著改善了牙槽骨结构,但在研究期间,咀嚼功能不足的负面影响并未完全逆转[16]。Tsolakis IA 等使用 Wistar 大鼠探讨饮食一致性对上颌和下颌生长的影响,历时三代,发现食物的一致性对上颌和下颌的生长与发育具有显著影响,软饮食习惯可能导致下颌后缩和上颌变窄[17]。这使得下颌能够更垂直地发育,这些发现可能暗示,缩小的下颌是人类进化过程中发生的颅面变化的一部分[17]。但仍有少量动物研究对牙弓宽度变化持不一致结论。Hassan MG 等一项长达 15 代的软食喂养下的小鼠研究,通过三维几何形态测量分析,结果表明,经过 15 代连续的软食喂养,没有影响颅骨和下颌骨的大小,但改变了形状;与长期软食摄入相关的形状变化包括颅骨和下颌骨前后尺寸的减小,以及横向尺寸的增宽;颅骨的颧颞区的侧向位移与下颌后部(包括髁突)的侧向位移相协调;他们认为长达 15 代连续软食喂养的实验设计可能是导致小鼠颅面形态变化与之前所有单代研究不同的原因[18]。Larsson E 等一项猪的软食室内饲养与硬食室外饲养的对比研究发现,软食室内饲养组的牙弓相较硬食室外饲养组明显更宽,在前磨牙区域最为明显,可能是由于非生理性喂养造成猪的非典型舌习惯所致[19]。在人类研究中,Sato H 等研究发现,下颌骨对咀嚼所产生的机械应力的功能适应反应会改变皮质骨厚度、牙槽骨密度,其不

仅发生在肌肉附着区,还发生在承力区牙齿的牙槽骨中[20]。Thongudomporn U 等对 151 名 12 至 14 岁的学生最大咬合力对牙槽骨形态影响的研究,结果发现最大咬合力与牙槽骨厚度与形状显著相关,可单独解释约 10%~20%的牙槽骨厚度与形状变化,但对牙弓宽度无影响[21]。该研究的研究对象为儿童,其结果不能推及成年人;其次单以最大咬合力作为咀嚼功能的指标显得局限,可能常规运动状态下的咀嚼力、咀嚼频次更能影响牙槽骨形态。Shimizu-Tomoda C 等对 50 名年龄在 18 至 39 岁之间的成年人的 CBCT 分析,分为前牙开骀组(25 名)、前牙正常咬合组(25 名),结果发现前牙开骀组上后牙牙槽嵴高度更大,同时上前牙唇侧和舌侧以及上后牙颊侧的皮质骨更薄,缺乏前牙区域的咬合接触可能会影响上颌牙槽骨的形态[22]。但该研究主要测量了唇腭侧皮质骨厚度的差异,未对松质骨厚度差异进行测量,同时测量区域集中于根尖水平的牙槽骨,其它牙根水平未涉及,因此未来需要进一步纵向研究及更全面的测量方法,阐明咀嚼刺激与皮质和松质骨形成之间的关系。

4.2. 垂直骨面型对牙槽骨厚度的影响

垂直骨面型与咀嚼肌存在相关性。在不同垂直骨面型中发现咬肌厚度、横截面积和体积存在显著差异,在高角患者中显著减少[23]。Tentolouri E 等在 211 名 6~15 岁在生长发育期的二类错骀儿童中研究发现,咬肌较厚的儿童更可能表现出较小的腭平面-下颌平面角(PP-MP)和前颅底平面-下颌平面角(SN-MP) [24]。Ispir NG 等在 115 名 15 岁以上个体研究中发现,咬肌厚度与垂直骨面型相关,其中低角组咬肌厚度高于均角、高角组[25]。Sadek MM 等对 45 名不同垂直骨面型的成人 CBCT 研究,发现垂直骨面型与牙槽高度和厚度之间存在显著统计学关系,高角组在上颌前牙和下颌几乎所有部位表现出更薄的牙槽骨厚度[26]。在高角和低角个体中,主要通过前牙牙槽高度和牙槽基底高度的适应发生牙齿-牙槽补偿[26][27]。Li B 等通过前牙牙槽嵴下方 1 mm、3 mm、5 mm 三个测量平面研究亚洲成人患者牙槽骨厚度,通过 FMA 角分为高角组、均角组、低角组,发现三组之间在前牙舌腭侧牙槽骨厚度方面存在显著差异,高角组的腭侧牙槽骨厚度最薄,而低角组的最厚;在唇侧牙槽骨厚度方面,三组之间没有显著差异[6]。同时上下前牙的舌腭侧牙槽骨厚度与 FMA 之间存在显著的弱到中等负相关性,认为 FMA 解释了约 30%的牙槽骨厚度差异[6]。但该研究单用 ANB 和 FMA 角用于区分样本矢状向、垂直向分组偏片面;测量平面为牙槽嵴下方 1 mm、3 mm、5 mm,集中在根颈部、中部,不够全面。Dalaie K 等研究发现在上颌中切牙腭侧,高角组较均角组、低角组牙槽骨厚度薄[28]。提示前牙在进行明显的矢状向运动时,高角患者可能更需谨慎进行,以避免将牙移出牙槽骨解剖界限的风险。

5. 矢状骨面型与前牙倾斜度对牙槽骨厚度的影响

5.1. 矢状骨面型对牙槽骨厚度的影响

Dalaie K 等研究发现,上中切牙唇侧牙槽嵴根方 9 mm 水平处,骨性 I 类错骀者的唇侧平均牙槽骨厚度大于骨性 II 类错骀者,存在显著差异[28]。Coşkun İ 等通过研究 60 例年龄大于 15 岁青春后期均角患者的 CBCT,测量在距牙槽嵴顶 5 mm 处牙槽间隔区域牙槽骨厚度,发现松质骨厚度在骨性 I 类、骨性 II 类、骨性 III 类错骀之间显示出显著差异,尤其是在骨性 II 类组的下颌松质骨厚度较厚,而上颌前牙、后牙皮质骨、松质骨在各组间均没有显著差异[29]。与其它研究结果不一致的可能原因,Coşkun İ 等的测量区域为牙槽间隔处皮质骨、松质骨厚度,而其它相似研究多在牙齿唇/舌侧区域测量牙槽骨厚度,可能受到牙齿倾斜度影响,其次 Coşkun İ 等每组研究样本量相对较小,更大样本的纳入以获得更高的统计功效和更大效应量会更为理想。Raber A 等通过对不同矢状骨面型个体的 CBCT 研究,发现骨性 III 类错骀组在切牙根尖点的唇侧骨厚度显著大于骨性 II 类、骨性 I 类错骀组;骨性 III 类错骀组在切牙根中点的唇侧骨厚度显著大于骨性 II 类错骀组[30]。这可能与上颌切牙的代偿性唇倾有关。Lei C 等研究发现在双侧尖

牙 III 类咬合关系的人群组相较于尖牙 I 类咬合关系组, 上颌中切牙的腭侧牙槽骨在根中和根尖水平显著较薄, 且更唇侧倾斜[31]。这可能是由于与骨性 III 类错殆畸形相关的腭侧发育不良所致[31]。Sendyk M 等研究发现, 在骨性 III 类错殆组中, 在牙根颈部(距 CEJ3mm)处的唇侧/舌腭侧平均牙槽骨厚度均显著低于面部协调且咬合正常组; 同时, 除了上颌第二磨牙的腭侧区域外, 骨性 III 类错殆组在根尖(距 CEJ8mm)处的平均牙槽骨厚度也低于面部协调且咬合正常组, 并除上颌第二磨牙远颊、腭侧和上颌侧切牙唇侧外均在统计学上有显著差异[32]。

5.2. 前牙倾斜度对牙槽骨厚度的影响

矢状向上下颌骨差异可能影响上颌和下颌前牙的倾斜角度[30][33]。Wan J 等研究发现, 骨性 II 类安氏 II 类组相较骨性 I 类安氏 I 类组下颌前牙的唇侧倾斜度更大, 同时其下颌切牙根尖位置更靠近基骨区域的外边界[10]。Dalaie K 等研究发现, II 类错殆的患者下颌中切牙的倾斜度更大, 而上颌中切牙的倾斜度更小, 这可能是由于牙齿对骨骼差异的补偿所致, 并发现上中切牙牙齿倾斜度与牙槽骨厚度之间存在显著的弱到中等相关性, 推测尽管牙齿的倾斜角度不同, 但牙槽骨遵循牙齿补偿的过程, 保持在倾斜角度降低或增加的牙齿周围稳定的牙槽骨厚度[28]。Sendyk M 等也有类似发现, 骨性 III 类错殆组相较面部协调且咬合正常组具有代偿性牙齿倾斜, 但两组中牙齿倾斜度与牙槽骨厚度间均相关性弱且统计显著性较少, 其推测存在一种自然生理补偿机制, 尽管牙根的倾斜度各异, 但仍维持着每颗牙齿周围牙槽骨的厚度, 以保持牙周组织的完整性[32]。Raber A 等研究发现在骨性 I 类错殆组中, 上下颌中、侧切牙的厚度与倾斜度之间存在显著的弱正相关; 在骨性 III 类错殆组中, 上下颌中切牙的厚度与倾斜度之间存在显著的弱正相关, 但在 II 类错殆组中未发现显著相关性[30]。这可能与未将骨性 II 类组基于上切牙倾斜度再次进行牙性分类有关, 因为安氏 II 类 I 分类与安氏 II 类 II 类相比, 切牙倾斜度差异非常大, 这可能有助于更好的研究倾斜度对骨厚度的影响。Tian YL 等通过研究成人上中切牙不同倾斜度唇腭侧牙槽骨厚度, 发现上中切牙腭侧倾斜组在根尖处的唇侧牙槽骨厚度和总牙槽骨厚度显著低于正常组和唇侧倾斜组, 在唇侧其余测量水平也低于其它组, 但这些差异并不显著, 且各组之间的腭侧牙槽骨厚度没有差异; 同时腭侧倾斜组唇侧更容易出现骨开窗[34]。提示存在上切牙腭侧倾斜的患者需要谨慎进行正畸治疗, 加强上前牙转矩控制, 实现控根移动, 减少根吸收、骨开窗等风险发生。Lei C 等研究中定义上中切牙唇腭侧釉牙骨质界连线中点与根尖点连线为牙齿长轴, 定义上中切牙唇侧牙槽突外表面延长线与腭侧牙槽突外表面延长线交角的角平分线作为牙槽突长轴, 研究发现上中切牙牙齿长轴与牙槽突长轴的交角与上中切牙根尖区腭侧牙槽骨厚度之间存在强正相关与根尖区唇侧牙槽骨厚度之间存在中等负相关[31]。与其它研究结果不一致的原因可能是其定义的牙齿长轴与牙槽突长轴的交角作为牙齿倾斜度变化与常规定义的牙齿倾斜度存在明显的测量方法差异有关。

6. 牙龈表型对牙槽骨厚度的影响

Shafizadeh M 等分析显示, 牙龈厚度与牙槽骨厚度之间存在弱到中等相关性, 厚牙龈表型相关的牙槽骨厚度显著更大[35]。Chanmanee P 等采用探针透明法将 40 名成人骨性 I 类牙槽前突受试者分为厚、薄两个牙龈生物型组, 研究发现在上前牙唇侧, 除了距牙槽嵴顶 10 mm 处测量水平外, 厚龈生物型的牙槽骨厚度、皮质骨厚度显著厚于薄龈生物型; 在上前牙腭侧, 厚龈生物型的牙槽骨厚度、皮质骨厚度、松质骨厚度均显著厚于薄龈生物型; 同时厚龈生物型的牙槽嵴顶到 CEJ 的距离在唇侧和腭侧均显著小于薄龈生物型[36]。Park JH 等采用探针透明法在 28 名成人骨性 III 类错殆患者中研究发现薄龈与厚龈之间在上切牙牙槽骨厚度方面没有显著差异[37]。但该研究中未提及薄型和厚型表型的具体样本量, 同时研究对象为骨性 III 类, 牙槽骨厚度可能更多受矢状骨面型影响。Bednarz 等研究 30 例成人上前牙唇侧牙龈厚

度与牙槽骨厚度发现, CEJ 与游离龈缘之间的中点处牙龈厚度及 CEJ 根方 1 mm 处牙龈厚度与牙槽嵴顶根方 2 mm、4 mm 处唇侧牙槽骨厚度存在显著弱的正相关; 牙槽嵴顶根方 1 mm 处牙龈厚度与唇侧各测量点处牙槽骨厚度没有显著相关性; 唇侧牙槽嵴根方 8 mm 处牙槽骨厚度与各测量点处牙龈厚度没有显著相关性[38]。Gong Z 等通过 350 例成人患者研究发现, 上切牙唇侧龈厚度与唇侧牙槽骨厚度显著正相关, 而与根方唇侧牙槽骨厚度无相关性[39]。推测龈厚度与牙槽骨厚度相关性向根尖方向减弱[40]。关于牙龈表型与牙槽骨厚度方面研究样本量少、腭侧牙龈厚度与骨厚度相关性研究少, 同时缺乏角化组织宽度测量, 无法对牙周表型进行全面分析, 需进一步研究来明确牙龈表型对上前区牙槽骨厚度的影响。

7. 地理环境与种族对牙槽骨厚度的影响

Rojo-Sanchis J 等的研究表明, 地理环境是牙槽骨厚度的重要影响因素之一, 并能部分解释唇侧牙槽骨厚度的异质性。相较于欧洲人群, 亚洲人群在上前牙的上切牙和尖牙区域的唇侧牙槽骨厚度较薄[9]。Córdova-Limaylla NE 等通过对 250 例不同海拔高度成人患者的 CBCT 研究发现, 高海拔地区的居民在上前牙唇侧牙槽骨的厚度上明显较大, 尤其在距牙槽嵴顶 5 mm 处, 差异尤为显著[41]。Longo BC 等的研究对 84 名成人的 CBCT 影像进行了分析, 将其分为黑人和白人两个组别, 测量了唇侧牙龈及牙槽骨厚度。结果表明, 黑人组在上前牙区域的唇侧牙龈和牙槽骨厚度均显著高于白人组[8]。目前关于地理环境和种族对牙槽骨厚度影响的研究较少, 仍需进一步探讨遗传、营养、生活习惯及社会经济环境等因素的作用。

8. 鼻腭管形态与上前牙牙槽骨厚度的关系

上颌切牙牙根与鼻腭管的接触显著增加其牙根吸收的风险[42]。Linjawi AI 等的研究发现, 矢状面上鼻腭管开口处的宽度与上中切牙根尖水平的腭侧牙槽骨厚度呈显著弱正相关[43]。Arnaut A 等通过对 133 例成人的鼻腭管形态进行 CBCT 分析, 将鼻腭管的矢状向形态分为香蕉型、沙漏型、圆柱型和漏斗型四种类型, 发现切牙孔处的前后直径、左右直径和鼻腭管的长度与鼻腭管和中切牙之间的最短距离存在显著相关性。香蕉型鼻腭管患者在切牙孔的唇侧边缘开口处水平, 其左右直径显著增加, 同时其与中切牙的最短距离较其他形态的鼻腭管更小, 而圆柱型鼻腭管与中切牙之间的最短距离则较大, 提示具有香蕉型鼻腭管的患者在中切牙最大内收过程中可能面临更高的并发症风险[44]。因此, 在进行上前牙内收治疗时, 应根据 CBCT 影像资料制定安全的内收范围, 并精确控制转矩和轴倾, 以避免牙根与鼻腭管发生接触。

9. 牙周炎对上前牙牙槽骨厚度的影响

牙槽骨吸收是牙周炎进展的标志之一, 随着骨吸收和骨形成平衡的破坏, 牙槽骨的形态也可能发生变化。Zhang X 等的研究表明, 牙周炎患者的上前牙唇侧残余骨较厚, 而舌侧则较薄。当牙槽骨吸收达到根长的 1/2 时, 唇侧残余骨的厚度显著增加; 而当骨吸收达到根长的 1/3 时, 腭侧残余骨厚度则出现减少。研究认为, 牙周炎患者在骨破坏和创伤性咬合力增加的情况下, 唇侧可能会发生补偿性骨形成[45]。Ramanauskaite A 等则通过对健康组与牙周炎组上前牙区域的比较, 发现两组唇侧牙槽骨厚度无显著差异; 但在下前牙区域, 健康组的唇侧牙槽骨厚度显著大于牙周炎组, 而在下前牙根中部区域, 牙周炎组的唇侧牙槽骨厚度则明显大于健康组[46]。尽管关于牙周炎对上前牙牙槽骨厚度的影响尚存争议, 且其研究结果可能受种族、牙周炎诊断标准、样本量及测量方法等因素的影响, 然而, 考虑到牙周炎患者残余骨高度的降低, 在后续的正畸和种植治疗中应特别谨慎, 避免进一步损伤牙槽骨结构。

10 总结

上前牙牙槽骨厚度受多种因素的影响, 尽管已有大量相关研究, 仍缺乏高质量的纵向研究以进一步

验证这些因素的作用机制。现有证据表明, 上前牙牙槽骨的厚度可能与以下因素密切相关: 咀嚼功能与垂直骨面型、矢状骨面型与前牙倾斜度、牙龈生物型、性别与年龄、地理环境与种族、鼻腭管形态以及牙周炎等。具体而言, 腭侧牙槽骨厚度在男性中普遍高于女性, 因此, 在女性患者的上前牙内收过程中, 特别需要关注牙槽骨的改建情况。此外, 尽管目前关于牙槽骨厚度随年龄变化的纵向数据较为缺乏, 但随着年龄增长, 骨合成代谢减缓, 因此不论牙槽骨厚度如何, 治疗时应更加谨慎地控制牙齿移动量, 减轻骨吸收与骨形成不平衡的副作用。咀嚼功能虽然影响颌骨的生长和发育, 改变皮质骨厚度和牙槽骨密度, 但对于上前牙区域牙槽骨厚度的影响尚缺乏确凿证据, 未来需开展更多的纵向研究和更全面的测量方法以深入探讨咀嚼刺激与骨结构形成之间的关系。咀嚼肌与垂直骨面型之间存在一定相关性, 高角骨面型患者通常具有较薄的咬肌, 并且上前牙区的牙槽骨厚度较薄, 因此在高角正畸患者的前牙矢状向移动过程中, 需特别谨慎, 避免将牙齿移出牙槽骨的解剖边界。矢状骨面型的差异也会影响前牙区的牙槽骨厚度, 尤其是骨性 III 类患者, 通常上前牙区的牙槽骨较薄, 且上前牙更易出现唇侧倾斜。牙龈表型与上前牙区牙槽骨厚度之间的关系尚有争议, 研究缺乏角化组织宽度测量, 无法对牙周表型进行全面分析, 需进一步研究来明确牙龈表型对上前区牙槽骨厚度影响。地理环境和种族因素也对上前牙牙槽骨厚度产生影响, 但相关研究较为稀少, 仍需进一步探讨遗传、营养、生活习惯及社会经济环境等因素的作用。此外, 香蕉型鼻腭管患者在进行上前牙内收时, 可能面临较高的并发症风险, 需特别注意制定安全的治疗方案。牙周炎的影响仍存在争议, 但普遍认为牙周炎患者的残余骨高度较低, 因此在正畸和种植治疗时应采取更加谨慎的策略。

参考文献

- [1] Handelman, C.S. (1996) The Anterior Alveolus: Its Importance in Limiting Orthodontic Treatment and Its Influence on the Occurrence of Iatrogenic Sequelae. *The Angle Orthodontist*, **66**, 95-110.
- [2] Zheng, Y., Zhu, C., Zhu, M. and Lei, L. (2022) Difference in the Alveolar Bone Remodeling between the Adolescents and Adults during Upper Incisor Retraction: A Retrospective Study. *Scientific Reports*, **12**, Article No. 9161. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12967-y>
- [3] Firinciogullari, M., Koral, S., Kurt, D. and Orhan, K. (2024) Gender-Based Variation in Alveolar Bone Thickness of Maxillary Incisor Teeth: A CBCT Retrospective Study. *Medical Science Monitor*, **30**, e944588. <https://doi.org/10.12659/msm.944588>
- [4] Holm, M., Jost-Brinkmann, P., Mah, J. and Bumann, A. (2016) Bone Thickness of the Anterior Palate for Orthodontic Miniscrews. *The Angle Orthodontist*, **86**, 826-831. <https://doi.org/10.2319/091515-622.1>
- [5] Chi, C., Shen, Y., Fuh, L. and Huang, H. (2024) Clinical Evaluation of Tooth Angle and Peripheral Bone Thickness Considering Sex and Age for Implant Placement in the Maxillary Anterior Region. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, **132**, 783.e1-783.e7. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.04.018>
- [6] Li, B., Li, J., Wang, H., Xie, X., Wen, J. and Li, H. (2022) Relationship between Different Skeletal Facial Types and Anterior Alveolar Bone Thickness with Cone-Beam Computed Tomography in an Asian Population. *Annals of Translational Medicine*, **10**, 956-956. <https://doi.org/10.21037/atm-22-935>
- [7] Do, T.A., Shen, Y., Fuh, L. and Huang, H. (2019) Clinical Assessment of the Palatal Alveolar Bone Thickness and Its Correlation with the Buccolingual Angulation of Maxillary Incisors for Immediate Implant Placement. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, **21**, 1080-1086. <https://doi.org/10.1111/cid.12835>
- [8] Longo, B.C., Aquaroni, L., Zimiani, G.S. and Cléverson, S.O. (2024) Black Ethnicity Influences Gingival and Bone Thickness: A Cross-Sectional Study. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, **44**, 534-543. <https://doi.org/10.11607/prd.6917>
- [9] Rojo-Sanchis, J., Soto-Peñaloza, D., Peñarrocha-Oltra, D., Peñarrocha-Diogo, M. and Viña-Almunia, J. (2021) Facial Alveolar Bone Thickness and Modifying Factors of Anterior Maxillary Teeth: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cone-Beam Computed Tomography Studies. *BMC Oral Health*, **21**, Article No. 143. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01495-2>
- [10] Wan, J., Wen, X., Geng, J. and Gu, Y. (2024) Three-Dimensional Analysis of the Positional Relationship between the Dentition and Basal Bone Region in Patients with Skeletal Class I and Class II Malocclusion with Mandibular Retrusion. *Korean Journal of Orthodontics*, **54**, 171-184. <https://doi.org/10.4041/kjod23.262>

- [11] Osborn, J.W. and Mao, J. (1993) A Thin Bite-Force Transducer with Three-Dimensional Capabilities Reveals a Consistent Change in Bite-Force Direction during Human Jaw-Muscle Endurance Tests. *Archives of Oral Biology*, **38**, 139-144. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(93\)90198-u](https://doi.org/10.1016/0003-9969(93)90198-u)
- [12] Sfeir, J.G., Drake, M.T., Khosla, S. and Farr, J.N. (2022) Skeletal Aging. *Mayo Clinic Proceedings*, **97**, 1194-1208. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2022.03.011>
- [13] Ambrosi, T.H., Marecic, O., McArdle, A., Sinha, R., Gulati, G.S., Tong, X., et al. (2021) Aged Skeletal Stem Cells Generate an Inflammatory Degenerative Niche. *Nature*, **597**, 256-262. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03795-7>
- [14] Hildebolt, C.F. (1997) Osteoporosis and Oral Bone Loss. *Dentomaxillofacial Radiology*, **26**, 3-15. <https://doi.org/10.1038/sj.dmfr.4600226>
- [15] Moss, M.L. (1997) The Functional Matrix Hypothesis Revisited. 4. The Epigenetic Antithesis and the Resolving Synthesis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **112**, 410-417. [https://doi.org/10.1016/s0889-5406\(97\)70049-0](https://doi.org/10.1016/s0889-5406(97)70049-0)
- [16] Mavropoulos, A., Ödman, A., Ammann, P. and Kiliaridis, S. (2010) Rehabilitation of Masticatory Function Improves the Alveolar Bone Architecture of the Mandible in Adult Rats. *Bone*, **47**, 687-692. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2010.06.025>
- [17] Tsolakis, I.A., Verikokos, C., Perrea, D., Perlea, P., Alexiou, K., Yfanti, Z., et al. (2023) Effects of Diet Consistency on Rat Maxillary and Mandibular Growth within Three Generations—A Longitudinal CBCT Study. *Biology*, **12**, Article 1260. <https://doi.org/10.3390/biology12091260>
- [18] Hassan, M.G., Kaler, H., Zhang, B., Cox, T.C., Young, N. and Jheon, A.H. (2020) Effects of Multi-Generational Soft Diet Consumption on Mouse Craniofacial Morphology. *Frontiers in Physiology*, **11**, Article 783. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00783>
- [19] Larsson, E., Øgaard, B., Lindsten, R., Holmgren, N., Brattberg, M. and Brattberg, L. (2005) Craniofacial and Dentofacial Development in Pigs Fed Soft and Hard Diets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **128**, 731-739. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.09.025>
- [20] Sato, H., Kawamura, A., Yamaguchi, M. and Kasai, K. (2005) Relationship between Masticatory Function and Internal Structure of the Mandible Based on Computed Tomography Findings. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **128**, 766-773. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.05.046>
- [21] Thongudomporn, U., Chongsuvivatwong, V. and Geater, A. (2009) The Effect of Maximum Bite Force on Alveolar Bone Morphology. *Orthodontics & Craniofacial Research*, **12**, 1-8. <https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2008.01430.x>
- [22] Shimizu-Tomoda, C., Ishida, Y., Ishizaki-Terauchi, A., Mizoguchi, Y., Oishi, S. and Ono, T. (2024) Effects of Occlusal Contact on Maxillary Alveolar Bone Morphology in Patients with and without Anterior Open Bite: A Cross-Sectional Study. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 3061. <https://doi.org/10.3390/jcm13113061>
- [23] Togninalli, D., Antonarakis, G.S. and Papadopoulou, A.K. (2024) Relationship between Craniofacial Skeletal Patterns and Anatomic Characteristics of Masticatory Muscles: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Progress in Orthodontics*, **25**, Article No. 36. <https://doi.org/10.1186/s40510-024-00534-2>
- [24] Tentolouri, E., Antonarakis, G.S., Georgiakaki, I. and Kiliaridis, S. (2022) Masseter Muscle Thickness and Vertical Cephalometric Characteristics in Children with Class II Malocclusion. *Clinical and Experimental Dental Research*, **8**, 729-736. <https://doi.org/10.1002/cre2.528>
- [25] Ispir, N.G. and Toraman, M. (2022) The Relationship of Masseter Muscle Thickness with Face Morphology and Parafunctional Habits: An Ultrasound Study. *Dentomaxillofacial Radiology*, **51**, Article 20220166. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20220166>
- [26] Sadek, M.M., Sabet, N.E. and Hassan, I.T. (2014) Alveolar Bone Mapping in Subjects with Different Vertical Facial Dimensions. *European Journal of Orthodontics*, **37**, 194-201. <https://doi.org/10.1093/ejo/cju034>
- [27] Kuitert, R., Beckmann, S., van Loenen, M., Tuinzing, B. and Zentner, A. (2006) Dentoalveolar Compensation in Subjects with Vertical Skeletal Dysplasia. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **129**, 649-657. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.09.032>
- [28] Dalaie, K., Hajimiresmail, Y.S., Safi, Y., Baghban, A.A., Behnaz, M. and Rafsanjan, K.T. (2023) Correlation of Alveolar Bone Thickness and Central Incisor Inclination in Skeletal Class I and II Malocclusions with Different Vertical Skeletal Patterns: A CBCT Study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **164**, 537-544. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2023.02.021>
- [29] Coşkun, İ. and Kaya, B. (2019) Relationship between Alveolar Bone Thickness, Tooth Root Morphology, and Sagittal Skeletal Pattern: A Cone Beam Computed Tomography Study Zusammenhang zwischen Dicke des Alveolarknochens, Zahnwurzelmorphologie und skelettalen Klassen Eine DVT-Studie. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, **80**, 144-158. <https://doi.org/10.1007/s00056-019-00175-9>
- [30] Raber, A., Kula, K. and Ghoneima, A. (2019) Three-Dimensional Evaluation of Labial Alveolar Bone Overlying the

- Maxillary and Mandibular Incisors in Different Skeletal Classifications of Malocclusion. *International Orthodontics*, **17**, 287-295. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2019.03.011>
- [31] Lei, C., Yu, Q., Wu, D., Cai, K., Weigl, P. and Tang, C. (2022) Comparison of Alveolar Bone Width and Sagittal Tooth Angulation of Maxillary Central Incisors in Class I and Class III Canine Relationships: A Retrospective Study Using CBCT. *BMC Oral Health*, **22**, Article No. 303. <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02331-x>
- [32] Sendyk, M., de Paiva, J.B., Abrão, J. and Rino Neto, J. (2017) Correlation between Buccolingual Tooth Inclination and Alveolar Bone Thickness in Subjects with Class III Dentofacial Deformities. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **152**, 66-79. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.12.014>
- [33] Coşkun, İ. and Kaya, B. (2019) Appraisal of the Relationship between Tooth Inclination, Dehiscence, Fenestration, and Sagittal Skeletal Pattern with Cone Beam Computed Tomography. *The Angle Orthodontist*, **89**, 544-551. <https://doi.org/10.2319/050818-344.1>
- [34] Tian, Y., Liu, F., Sun, H., Lv, P., Cao, Y., Yu, M., et al. (2015) Alveolar Bone Thickness around Maxillary Central Incisors of Different Inclination Assessed with Cone-Beam Computed Tomography. *The Korean Journal of Orthodontics*, **45**, 245-252. <https://doi.org/10.4041/kjod.2015.45.5.245>
- [35] Shafizadeh, M., Amid, R., Tehranchi, A. and Motamedian, S.R. (2022) Evaluation of the Association between Gingival Phenotype and Alveolar Bone Thickness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Archives of Oral Biology*, **133**, Article 105287. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2021.105287>
- [36] Chanmanee, P. and Charoemratrote, C. (2019) Maxillary Bone Characteristics between Thick and Thin Gingival Biotypes with Dentoalveolar Protrusion. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, **8**, 118-123. <https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2019.02.002>
- [37] Park, J., Hong, J., Ahn, H. and Kim, S. (2017) Correlation between Periodontal Soft Tissue and Hard Tissue Surrounding Incisors in Skeletal Class III Patients. *The Angle Orthodontist*, **88**, 91-99. <https://doi.org/10.2319/060117-367.1>
- [38] Bednarz-Tumidajewicz, M., Sender-Janeczek, A., Zborowski, J., Gedrange, T., Konopka, T., Prylińska-Czyżewska, A., et al. (2020) *In vivo* Evaluation of Periodontal Phenotypes Using Cone-Beam Computed Tomography, Intraoral Scanning by Computer-Aided Design, and Prosthetic-Driven Implant Planning Technology. *Medical Science Monitor*, **26**, e924469. <https://doi.org/10.12659/msm.924469>
- [39] Gong, Z., Gao, G., Shi, M., Gan, X., Cai, G., Chen, H., et al. (2024) Integrated Correlation Analysis of the Thickness of Buccal Bone and Gingiva of Maxillary Incisors. *Journal of Applied Oral Science*, **32**, e20240018. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2024-0018>
- [40] Zhao, H., Zhang, L., Li, H., Hieawy, A., Shen, Y. and Liu, H. (2023) Gingival Phenotype Determination: Cutoff Values, Relationship between Gingival and Alveolar Crest Bone Thickness at Different Landmarks. *Journal of Dental Sciences*, **18**, 1544-1552. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2023.03.003>
- [41] Córdova-Limaylla, N.E., Rosas-Díaz, J.C., Alvarez-Medina, R., Palomino-Zorrilla, J.J., Guerrero-Acevedo, M.E., Cervantes-Ganoza, L.A., et al. (2021) Evaluation of Buccal Bone Wall Thickness of Anterosuperior Teeth and Nasopalatine Duct Morphology in Cone Beam Computed Tomography of Patients Living at Different Altitudes: A Two-Year Retrospective Study. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, **11**, 652-660. https://doi.org/10.4103/jispcd.jispcd_126_21
- [42] Kuc, A.E., Kotuła, J., Nawrocki, J., Babczyńska, A., Lis, J., Kawala, B., et al. (2023) The Assessment of the Rank of Torque Control during Incisor Retraction and Its Impact on the Resorption of Maxillary Central Incisor Roots According to Incisive Canal Anatomy—Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*, **12**, Article 2774. <https://doi.org/10.3390/jcm12082774>
- [43] Linjawi, A.I. and Marghalani, H.Y.A. (2022) Relationship between Maxillary Central Incisors and Incisive Canal: A Cone-Beam Computed Tomography Study. *Folia Morphologica*, **81**, 458-463. <https://doi.org/10.5603/fm.a2021.0046>
- [44] Arnaut, A., Milanovic, P., Vasiljevic, M., Jovicic, N., Vojinovic, R., Selakovic, D., et al. (2021) The Shape of Nasopalatine Canal as a Determining Factor in Therapeutic Approach for Orthodontic Teeth Movement—A CBCT Study. *Diagnostics*, **11**, Article 2345. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11122345>
- [45] Zhang, X., Li, Y., Ge, Z., Zhao, H., Miao, L. and Pan, Y. (2020) The Dimension and Morphology of Alveolar Bone at Maxillary Anterior Teeth in Periodontitis: A Retrospective Analysis—Using CBCT. *International Journal of Oral Science*, **12**, Article No. 4. <https://doi.org/10.1038/s41368-019-0071-0>
- [46] Ramanauskaite, A., Becker, K., Kassira, H.C., Becker, J., Sader, R. and Schwarz, F. (2019) The Dimensions of the Facial Alveolar Bone at Tooth Sites with Local Pathologies: A Retrospective Cone-Beam CT Analysis. *Clinical Oral Investigations*, **24**, 1551-1560. <https://doi.org/10.1007/s00784-019-03057-x>