

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2026.12.046

颅颌面垂直向发育与上气道三维形态研究进展

徐志宸, 古力巴哈·买买提力

(新疆医科大学第二附属医院口腔科, 新疆 乌鲁木齐 830000)

[摘要] 颅颌面垂直骨面型与上气道阻塞风险存在密切的解剖学关联,但在口腔正畸与呼吸睡眠医学的临床实践中,这一关系常被忽视,且现有研究因人群差异、错殆类型及测量方法不一而结论不一致。本文梳理该领域的最新进展,系统回顾了从二维头影测量到三维CBCT的影像学技术演变,比较了个别正常殆与不同错殆人群中垂直骨面型对上气道三维形态的影响差异,旨在为临床早期识别高风险人群、优化诊疗策略提供理论依据。

[关键词] 上气道; 垂直骨面型; 个别正常殆

[中图分类号] R783.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949(2026)12-0185-05

Research Progress on Craniomaxillofacial Vertical Development and Three-dimensional Morphology of Upper Airway

XU Zhichen, Gulibaha · Maimaitili

(Department of Stomatology, the Second Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

[Abstract] Craniomaxillofacial vertical skeletal pattern is closely correlated with the anatomical risk of upper airway obstruction. However, this association is frequently overlooked in the clinical practice of orthodontics and sleep respiratory medicine. In addition, existing studies have presented inconsistent conclusions due to differences in research populations, malocclusion types and measurement methods. This paper summarizes the latest research progress in this field, systematically reviews the evolution of imaging techniques from two-dimensional cephalometry to three-dimensional CBCT measurement, and compares the differential effects of vertical skeletal patterns on the three-dimensional morphology of the upper airway among patients with individual normal occlusion and different types of malocclusion. It aims to provide a theoretical basis for early clinical identification of high-risk populations and optimization of diagnosis and treatment strategies.

[Key words] Upper airway; Vertical skeletal pattern; Individual normal occlusion

颅颌面垂直向发育异常形成的高角、均角与低角骨面型,不仅影响面部比例与侧貌美学,也与上气道三维形态及呼吸功能密切相关。垂直骨面型由于下颌骨位置、舌骨高度及咽腔横径与前后径的匹配关系差异,会从结构基础上影响气道通畅性。近年来,锥形束计算机断层扫描(cone-beam computed tomography, CBCT)三维重建技术的普及使上气道容积、最小截面积及分段形态的精确量化成为可能,大量研究围绕不同垂直骨面型人群的气道差异展开,但结论

尚不一致。部分研究支持高角型气道容积显著小于均角与低角型^[1-3],另一些则指出该规律仅见于特定错殆类型,在正常殆或安氏Ⅲ类中并不完全成立^[4, 5]。这种差异提示错殆类型、种族及测量方法等因素可能影响二者关系,但目前缺乏系统性整合。本文拟系统综述垂直骨面型与上气道三维形态关系的研究进展,从理论基础、测量技术、不同人群差异及临床启示等方面进行总结,旨在为早期识别高风险人群及优化诊疗策略提供参考。

第一作者: 徐志宸(1999.2-),男,湖南衡阳人,硕士研究生,住院医师,主要从事口腔正畸学研究

通讯作者: 古力巴哈·买买提力(1965.10-),女,新疆乌鲁木齐人,硕士,主任医师,主要从事口腔正畸学研究

1 垂直骨面型与上气道关系的理论基础

1.1 生长发育理论框架 上气道是呼吸系统的重要组成部分,其形态和功能与颅颌面骨骼结构,尤其是垂直骨面型,存在着密切且复杂的联系^[6, 7]。垂直骨面型,通常根据下颌平面角的大小分为高角型、均角型和低角型^[8]。理解这两者关系的理论基础,需要从生长发育的视角出发,探讨颅颌面骨骼与上气道所存在的内在联系^[9]。研究表明^[10],鼻咽部的快速生长期较早,其横径在8~10岁发育迅速,而矢状径的快速发育则在12~13岁,这意味着在儿童替牙期和青春期,垂直骨面型的形成与上气道的发育同步进行。在替牙期儿童中,不同垂直骨面型的上气道矢状径已呈现显著差异,表现为高角组大于均角组,而均角组大于低角组的规律,且舌骨位置也随骨面型不同而改变^[11]。垂直骨面型与上气道关系的理论基础对临床策略制定起重要指导作用,高角垂直骨面型,因其常伴随的下颌后下旋转、后面高不足、舌骨后下位等特征,倾向于形成更窄长、容积更小的上气道结构,因此在正畸治疗或者正颌手术需额外关注对术后气道的影响^[7, 12, 13]。可见,垂直骨面型的形成与上气道发育在时间和空间上高度重叠,其生长发育特征为后续基于影像学方法探讨二者的三维形态关联性提供了重要的理论基础。

1.2 遗传与环境因素对垂直向发育的交互影响 一项针对比利时核心家庭的定量遗传分析显示^[14],代表面部垂直向的合成因子(vertical facial composite factor, VFCE)其遗传力估计值约为55%,表明超过一半的个体间变异可归因于加性遗传效应。也有研究通过遗传模型拟合分析发现^[15],面部垂直向比例具有显著的遗传度,例如,上面高与下面高之比的遗传成分约为71%,前后面高比的遗传成分约为66%,而全面高本身的遗传成分也达到62%,这表明个体面部垂直向的总体比例和尺寸在很大程度上由遗传基因决定。而也有研究表明^[16],在儿童时期由于上呼吸道堵塞、口呼吸等后天因素可能影响颌面部发育。因此,在分析垂直骨面型与上气道关系时,应同时考虑遗传背景与环境因素的长期影响,避免以单一因素解释复杂的颅颌面发育现象。

2 上气道研究方法与测量技术

2.1 头影测量技术的优势与局限性 头影测量的核心价值在于其量化分析能力,可通过测量角度、

线距和比例,医生可以精确描述患者的骨型、牙齿位置、软组织轮廓以及上气道形态,这种客观数据不仅为诊断提供依据,还能用于治疗前后的对比,科学评估矫治效果^[17-19]。头影测量无论手动标记还是自动定点,都存在固有误差,不同医师之间甚至同一医师在不同时间的标记都可能存在差异^[20]。CBCT、MRI设备及先进的AI分析软件价格昂贵,并非所有医疗机构都能配备。AI软件多为商业闭源产品(如Dolphin Imaging软件),其算法细节和性能可能不透明,而开源软件(如Uceph软件),虽有利于透明和协作,但其临床验证和长期维护面临挑战^[21]。尽管头影测量在临床中仍具有一定应用价值^[22],但其二维特性及重叠误差限制了对上气道真实三维结构的准确评估,这也促使近年来研究逐渐转向以CBCT为代表的三维影像分析方法。

2.2 CBCT三维重建技术的标准化应用 CBCT因其能够提供高质量的三维影像、较好的空间分辨率以及相对较低的辐射剂量,在颅颌面及上气道形态分析中已成为重要工具^[23, 24]。二维头影测量主要通过侧位片评估矢状面的气道宽度,常用的指标包括软腭后及舌后区气道间隙测量,以及基于腭平面、咬合平面、下颌平面等参考平面分节段测量的气道矢状径,此外还可评估舌骨位置、软腭长度与厚度等相关结构。然而,该方法存在固有局限,二维静态图像只能反映特定时刻的解剖形态,无法评估气道的塌陷性、动态变化以及功能性狭窄。对于阻塞性睡眠呼吸暂停综合征(obstructive sleep apnea, OSA)等涉及睡眠状态下气道塌陷的疾病,二维头影测量只能提供有限的解剖信息,无法直接评估功能状态。相较于传统二维头影测量,CBCT不仅可清晰显示骨骼结构,还能较准确地重建上气道、舌体、软腭等软组织的三维形态,为垂直骨面型与上气道关系的量化研究提供了更为全面和立体的数据基础^[25, 26]。在垂直骨面型与上气道关联性研究中,CBCT的标准化应用主要体现在扫描参数、重建方法与测量指标的统一上,扫描时通常采用中等或大视野(field of view, FOV),以完整涵盖颅底至舌骨区域,确保气道及周围骨骼结构的完整性^[3, 27, 28]。在三维分析中,常通过软件如Dolphin 3D、Mimics等进行气道分割与重建,并提取多项形态学参数,包括气道总容积、各段分段体积、最小截面

积、气道长度及平均横截面积等, 这些参数能够客观反映气道的通畅程度与空间结构^[29]。但不同研究在扫描头位、呼吸状态控制、气道分割阈值及软件算法等方面存在差异^[30], 这也是导致垂直骨面型与上气道关系研究结论不完全一致的重要原因之一。

2.3 不同上气道分割方法在垂直骨面型研究中的应用 目前临床上对上气道多采用最经典的三段法, 分别为鼻咽部、口咽部、喉咽部^[31]。鼻咽部指从后鼻棘到硬腭平面后, 其形态主要受鼻中隔、腺样体及颅底影响, 与垂直骨面型中的上面高发育关联密切。口咽部指从硬腭平面到会厌尖, 这是受颌骨和舌体位置影响最大的区域。高角型患者因下颌后下旋转、舌骨位置靠后, 此区域常表现为矢状径增加, 但横径狭窄, 总体积可能减小^[32]。喉咽部指从会厌尖到声门上方, 其形态与会厌、舌骨及颈椎前软组织相关。这种方法虽然划分明确, 可重复性强, 便于不同研究间进行横向比较, 尤其适合分析颌骨垂直向发育对气道整体和局部的影响。但由于口咽部范围较长, 可能掩盖内部的细微形态差异。为了实现对不同垂直骨面型上气道分段的高通量、高精度分析, 深度学习技术成为近年来研究的焦点。多项研究验证了基于深度学习的自动分割模型在CT和CBCT影像上的卓越性能, 与手动分割相比, AI自动化方法在时间和一致性上具有一定优势。一项比较研究表明^[33], AI自动化方法每例分析仅需不到30 s, 而半自动方法需161.4 s, 手动方法则需336.6 s。另一项研究发现^[34], 半自动分割在95%豪斯多夫距离上更接近手动分割, 但自动分割在容积比较上与手动方法无统计学显著差异。

3 正常殆与错殆人群上气道的比较研究

在理想状态下, 以个别正常殆人群为研究对象, 能最大程度地排除牙性代偿与功能性干扰, 从而更好地揭示颅颌面骨骼发育与上气道形态之间的内在生物学关联^[35, 36]。此类研究通常发现, 即使在无明显错殆的个体中, 不同垂直骨面型高角、均角、低角的上气道三维形态也存在不同的差异, 更能证明生长发育理论中骨骼对软组织空间起基础性塑造作用^[37]。然而, 错殆畸形人数占绝大多数^[38], 这得上气道与骨骼发育之间的关系难以明确。研究普遍观察到, 错殆人群中垂直骨面型与气道形态相关测量指标可能与正常殆人

群有所不同^[37-39]。一项针对高角成年患者的研究发现^[40], 在伴有安氏Ⅱ类错殆的个体中, 其口咽部气道容积的减小程度可能显著高于单纯高角型但咬合正常者。因此在不同人群及错殆条件下, 垂直骨面型与上气道三维形态的关联呈现出显著的条件相关性。在正常殆人群中, 多数研究支持高角型群体的上气道矢状径及容积均小于均角型与低角型^[6, 41], 这体现了颅颌面骨骼发育对气道软组织的基础性塑造作用。然而, 在错殆人群中, 结论则倾向于安氏Ⅱ类伴高角型患者的气道狭窄程度往往大于单纯高角型或单纯Ⅱ类患者, 这提示下颌后缩与后下旋转存在叠加效应^[42]。

4 临床应用启示

在正畸治疗中患者就诊的主要目的往往是解决牙齿不齐、嘴突等问题, 而睡眠打鼾、呼吸不畅这些危害身体的问题一般难以发现, 而这些疾病的诊断需要借助较复杂的设备与仪器, 患者自身对这些疾病的认识不足, 所以导致这些问题被忽视, 这导致大量潜在气道风险在治疗初期易被忽视。而CBCT等三维影像虽然可以准确提供气道形态学指标, 但上气道形态在呼吸、吞咽、睡眠会发生改变, 当前的静态评估无法捕捉气道的塌陷, 而这恰恰是决定睡眠呼吸障碍发生的关键生物力学属性^[43]。清醒仰卧位的影像无法完全模拟睡眠中肌张力下降时的气道状态。因此, 推广基于CBCT的标准化三维气道分析, 将容积、最小截面积、表面积等指标纳入常规测量在不同错殆人群十分重要。

5 总结与展望

颅颌面垂直向发育与上气道三维形态关联性的研究, 已从最初的形态描述步入机制探索与临床转化的关键阶段。不同垂直骨面型相关研究的根本价值在于它跨越了口腔正畸学与呼吸睡眠医学的界限, 为理解颅面生长发育、呼吸生理与疾病发生提供了独特的交汇视角。展望未来, 随着三维测量技术、人工智能预测模型的发展, 研究成果将为临床决策提供指导意义。未来的临床工作将可能借助智能系统, 在治疗前可利用可视化模拟不同正畸或手术方案对上气道空间可能存在的影响, 实现治疗方案的精确化。

对颅颌面垂直向发育与上气道关系的研究,

其意义远超单一技术或指标的探讨,它代表了一种更具整体观的医学思维。通过持续深入的研究,这一领域有望在改善患者颌面外观与咬合功能的同时,更早、更主动地守护其呼吸健康,最终实现功能与美观并存的现代化治疗目标。

[参考文献]

- [1] Al-Somairi MAA, Liu Y, Almashraq AA, et al. Correlation between the three-dimensional maxillomandibular complex parameters and pharyngeal airway dimensions in different sagittal and vertical malocclusions[J]. *Dentomaxillofac Radiol*, 2023, 52(3): 20220346.
- [2] Memon S, Fida M, Shaikh A. Comparison of different craniofacial patterns with pharyngeal widths[J]. *J Coll Physicians Surg Pak*, 2012, 22(5): 302-306.
- [3] Celikoglu M, Bayram M, Sekerci AE, et al. Comparison of pharyngeal airway volume among different vertical skeletal patterns: a cone-beam computed tomography study[J]. *Angle Orthod*, 2014, 84(5): 782-787.
- [4] Mei DL, Liu LN, Han LC. Upper airway changes after orthognathic surgery in patients with skeletal class III high-angle malocclusion and mandibular deviation[J]. *Clin Oral Investig*, 2025, 29(1): 73.
- [5] Brito FC, Brunetto DP, Nojima MCG. Three-dimensional study of the upper airway in different skeletal Class II malocclusion patterns[J]. *Angle Orthod*, 2019, 89(1): 93-101.
- [6] Ning R, Guo J, Martin D. Effect of premolar extraction on upper airway volume and hyoid position in hyperdivergent adults with different mandibular length[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2022, 161(4): e390-e399.
- [7] Liu Y, Chen W, Wei Y, et al. The effect of orthodontic vertical control on the changes in the upper airway size and tongue and hyoid position in adult patients with hyperdivergent skeletal class II[J]. *BMC Oral Health*, 2022, 22(1): 532.
- [8] Liu Y, Wang S, Wang C, et al. Relationships of vertical facial pattern, natural head position and craniocervical posture in young Chinese children[J]. *Cranio*, 2018, 36(5): 311-317.
- [9] Reinheimer DM, Andrade BMR, Nascimento JKF, et al. Formant Frequencies, Cephalometric Measures, and Pharyngeal Airway Width in Adults With Congenital, Isolated, and Untreated Growth Hormone Deficiency[J]. *J Voice*, 2021, 35(1): 61-68.
- [10] 刘杉杉, 邓金荣, 王东升, 等. 8~13岁中国健康儿童鼻咽部生长发育变化的纵向研究[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2016, 51(10): 733-739.
- [11] 郭涛, 丁寅. 替牙期不同垂直骨面型儿童上气道形态和舌骨位置差异的研究[J]. *口腔医学研究*, 2006(1): 58-62.
- [12] Nasih M, Mbyayingabo D, Li Y, et al. Exploring the relationship between condylar position and pharyngeal airway dimensions using 3D analysis across different skeletal patterns[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 42153.
- [13] Li X, Zhao Q, Zhao R, et al. Effect of occlusal plane control procedure on hyoid bone position and pharyngeal airway of hyperdivergent skeletal Class II patients[J]. *Angle Orthod*, 2017, 87(2): 293-299.
- [14] Jelenkovic A, Poveda A, Susanne C, et al. Contribution of genetics and environment to craniofacial anthropometric phenotypes in Belgian nuclear families[J]. *Hum Biol*, 2008, 80(6): 637-654.
- [15] Savoye I, Loos R, Carels C, et al. A genetic study of anteroposterior and vertical facial proportions using model-fitting[J]. *Angle Orthod*, 1998, 68(5): 467-470.
- [16] 刘佳鑫, 陈锐, 任利玲. 儿童上呼吸道阻塞对颅颌面部骨骼发育及口颌系统功能影响的研究进展[J]. *中国美容医学*, 2021, 30(11): 173-175.
- [17] Kissel P, Mah JK, Bumann A. Modern 3D cephalometry in pediatric orthodontics-downsizing the FOV and development of a new 3D cephalometric analysis within a minimized large FOV for dose reduction[J]. *Clin Oral Investig*, 2021, 25(7): 4651-4670.
- [18] Sennimalai K, Selvaraj M, Kharbanda OP, et al. MRI-based cephalometrics: a scoping review of current insights and future perspectives[J]. *Dentomaxillofac Radiol*, 2023, 52(5): 20230024.
- [19] Guo D, Han W, Lyu P, et al. Towards Better Cephalometric Landmark Detection With Diffusion Data Generation[J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2025, 44(7): 2784-2794.
- [20] Liu B, Liu C, Xiong Y, et al. Accuracy and reliability of 3D cephalometric landmark detection with deep learning[J]. *Eur J Med Res*, 2025, 30(1): 1000.
- [21] Moreno M, Gebeile-Chauty S. Étude comparative de deux logiciels de détection de points de repère céphalométriques par intelligence artificielle [Comparative study of two

- software for the detection of cephalometric landmarks by artificial intelligence[J].*Orthod Fr*,2022,93(1):41-61.
- [22]Dong Z,Zeng Y,Chen J,et al.Upper airway and hyoid bone-related morphological parameters associated with the apnea-hypopnea index and lowest nocturnal oxygen saturation:a cephalometric analysis[J].*BMC Oral Health*,2025,25(1):583.
- [23]Abdalla Y,Sonnesen L.Association between orthodontic treatment and upper airway changes in children assessed with cone-beam computed tomography (CBCT):A systematic review[J].*J Oral Rehabil*,2024,51(10):2195-2208.
- [24]Mini AHI,Wegner H,Lonic D,et al.Cone beam computed tomography based upper airway measurement after orthognathic surgery:a comparative evaluation of different imaging software[J].*Sci Rep*,2025,15(1):6638.
- [25]Tseng YC,Tsai FC,Chou ST,et al.Evaluation of pharyngeal airway volume for different dentofacial skeletal patterns using cone-beam computed tomography[J].*J Dent Sci*,2021,16(1):51-57.
- [26]Elagib T,Kyung HM,Hung BQ,et al.Assessment of pharyngeal airway in Korean adolescents according to skeletal pattern,sex,and cervical vertebral maturation:A cross-sectional CBCT study[J].*Korean J Orthod*,2022,52(5):345-353.
- [27]Li Q,Tang H,Liu X,et al.Comparison of dimensions and volume of upper airway before and after mini-implant assisted rapid maxillary expansion[J].*Angle Orthod*,2020,90(3):432-441.
- [28]Wang T,Yang Z,Yang F,et al.A three dimensional study of upper airway in adult skeletal Class II patients with different vertical growth patterns[J].*PLoS One*,2014,9(4):e95544.
- [29]Jessadapornchai T,Samruajbenjakun B,Chanmanee P,et al.3D analysis of upper airway morphology related to obstructive sleep apnea severity[J].*J World Fed Orthod*,2024,13(4):175-180.
- [30]李树华,董莘,石洪金,等.CT测量在阻塞性睡眠呼吸暂停综合征上呼吸道狭窄定位诊断中的意义[J].*中华耳鼻咽喉科杂志*,2002,(2):56-59,91.
- [31]Perez FA,Hottinger DG,Evans KN,et al.Longer upper airway lengths in Robin Sequence:A case-control study using computed tomography[J].*Paediatr Anaesth*,2020,30(6):683-690.
- [32]Johns FR,Strollo PJ Jr,Buckley M,et al.The influence of craniofacial structure on obstructive sleep apnea in young adults[J].*J Oral Maxillofac Surg*,1998,56(5):596-603.
- [33]Chwařścianek N,Kazimierzczak N,Serafin Z,et al.Reliability of AI-Automated and Semiautomated Upper Airway Volume Segmentation[J].*Diagnostics (Basel)*,2026,16(7):1105.
- [34]Süküt Y,Yurdakurban E,Duran GS.Accuracy of deep learning-based upper airway segmentation[J].*J Stomatol Oral Maxillofac Surg*,2025,126(2):102048.
- [35]Stahl de Castrillon F,Baccetti T,Franchi L,et al.Lateral cephalometric standards of Germans with normal occlusion from 6 to 17 years of age[J].*J Orofac Orthop*,2013,74(3):236-256.
- [36]郭涛,丁寅.正常骨面型儿童、成人上气道形态的X线头影测量分析[J].*北京口腔医学*,2006(4):247-250.
- [37]Xiao D,Gao H,Ren Y.Craniofacial morphological characteristics of Chinese adults with normal occlusion and different skeletal divergence[J].*Eur J Orthod*,2011,33(2):198-204.
- [38]许提提,曾利伟,闻健琼,等.江西省5387名12~14岁青少年错殆畸形流行病学调查分析[J].*华西口腔医学杂志*,2019,37(5):541-546.
- [39]王明洁,崔淑霞.气道与颅颌面形态关系的研究进展[J].*北京口腔医学*,2016,24(5):293-296.
- [40]刘盼明,李政泽,李军鹤,等.成人骨性II类患者不同垂直骨面型上颌窦容积及口咽气道体积的锥形束计算机断层扫描研究[J].*国际口腔医学杂志*,2023,50(5):528-537.
- [41]单敏慧,潘耀辉.骨性II类青少年垂直骨型对上气道及舌骨的影响[J].*中华口腔正畸学杂志*,2025,32(2):85-89.
- [42]Al-Somairi MAA,Zheng B,Almaqrani BS,et al.Correlation between the three-dimensional hyoid bone parameters and pharyngeal airway dimensions in different sagittal and vertical malocclusions[J].*J Stomatol Oral Maxillofac Surg*,2024,125(12 Suppl 2):101994.
- [43]Savoldi F,Dagassan-Berndt D,Patcas R,et al.The use of CBCT in orthodontics with special focus on upper airway analysis in patients with sleep-disordered breathing[J].*Dentomaxillofac Radiol*,2024,53(3):178-188.

收稿日期: 2026-6-6 编辑: 张孟丽