

·颌面美容·

·论著·

PAOO术后下前牙唇侧骨量变化：2D线性与3D体积分析的效能与临床意义

魏雅芹¹, 陈烈金¹, 黄辉², 吴敏婷¹, 陈玉婷²

(1.佛山市第二人民医院口腔科 广东 佛山 528000; 2.华南理工大学附属第六医院口腔科 广东 佛山 528200)

[摘要]目的: 比较二维线性测量法与三维体积分析法在评估牙周加速成骨正畸术 (Periodontal Accelerated Osteogenic Orthodontic, PAOO) 术后下前牙唇侧骨量变化中的差异及其临床应用价值, 为精准评估骨改建效果提供科学依据。**方法:** 选取2018年1月-2024年12月于佛山市第二人民医院和华南理工大学附属第六医院口腔科接受PAOO治疗的15例患者, 采用锥形束计算机断层扫描 (CBCT) 分别获取术前 (T0)、术后6个月 (T1) 及术后18个月 (T2) 的影像数据。通过二维线性测量法评估唇侧骨高度和厚度, 通过三维体积分析法测量唇侧骨体积, 分析两种方法的评估效能。**结果:** 术后18个月, 中央截面骨厚度 (二维测量) 的中位数减少1.05 mm (IQR: 0.96~1.13 mm, 范围: 0.00~1.19 mm, $P<0.01$), 三维骨体积的中位数减少25.78 mm³ (IQR: 24.89~26.67 mm³, $P<0.01$)。二维测量与三维测量在骨厚度上的相关性较高 ($r=0.98$, $P<0.01$), 但在垂直高度上的相关性较低 ($r=0.36$, $P=0.20$)。三维体积分析在检测微小骨量变化方面表现出更高的敏感性。**结论:** PAOO术后下前牙唇侧骨增量随时间逐渐减少。三维体积分析法在评估骨改建动态变化方面优于二维线性测量法, 具有更高的敏感性和精确性, 推荐作为临床精准评估的首选方法。

[关键词] 牙周加速成骨正畸术 (PAOO); 下前牙; 唇侧骨量; 二维三维分析; 锥形束计算机断层扫描 (CBCT); 骨改建

[中图分类号]R783.5 **[文献标志码]**A **[文章编号]**1008-6455 (2026) 03-0076-07

Changes in Labial Bone Volume of Mandibular Anterior Teeth Post-PAOO: Efficacy and Clinical Value of 2D Linear and 3D Volumetric Analysis

WEI Yaqin¹, CHEN Liejin¹, HUANG Hui², WU Minting¹, CHEN Yuting²

(1. Department of Stomatology, the Second People's Hospital of Foshan, Foshan 528000, Guangdong, China; 2. Department of Stomatology, the Sixth Affiliated Hospital of South China University of Technology, Foshan 528200, Guangdong, China)

Abstract: Objective To compare the differences and clinical value of two-dimensional (2D) linear measurement and three-dimensional (3D) volumetric analysis in evaluating labial bone changes of mandibular anterior teeth following Periodontally Accelerated Osteogenic Orthodontics (PAOO), and to provide a scientific basis for precise bone remodeling assessment. **Methods** Fifteen patients who underwent Periodontally Accelerated Osteogenic Orthodontics (PAOO) treatment at the Department of Stomatology of Foshan Second People's Hospital and the Sixth Affiliated Hospital of South China University of Technology between January 2018 and December 2024 were selected. Cone-beam computed tomography (CBCT) was used to obtain imaging data at three time points: pre-operation (T0), 6 months post-operation (T1), and 18 months post-operation (T2). Labial bone height and thickness were evaluated using two-dimensional (2D) linear measurement, while labial bone volume was assessed using three-dimensional (3D) volumetric analysis. The efficacy of both methods was analyzed. **Results** At 18 months post-operation, the median labial bone thickness (2D measurement) decreased by 1.05 mm (IQR: 0.96-1.13 mm; range: 0.00-1.19 mm; $P<0.01$), and the median 3D bone volume decreased by 25.78 mm³ (IQR: 24.89-26.67 mm³; $P<0.01$). A high correlation was observed between 2D and 3D measurements for bone thickness ($r=0.98$, $P<0.01$), but the correlation for vertical height was low ($r=0.36$, $P=0.20$). The 3D volumetric analysis demonstrated greater sensitivity in detecting subtle bone volume changes. **Conclusion** Labial bone augmentation following PAOO gradually decreases over time. Compared to 2D linear measurement, 3D volumetric analysis offers superior sensitivity and precision in assessing dynamic bone remodeling changes, making it the recommended method for precise clinical evaluation.

Key words: periodontal accelerated osteogenic orthodontic (PAOO); mandibular anterior teeth; labial bone volume; 2D/3D analysis; cone-beam computed tomography (CBCT); bone remodeling

牙周辅助加速成骨正畸 (PAOO) 是一种融合牙周手术与正畸治疗的技术,旨在通过骨增量促进牙齿移动并优化牙槽骨条件^[1]。PAOO术后骨增量的精准评估对于判断治疗效果及制定后续治疗策略具有重要意义^[2-3]。传统上,临床评估骨增量主要依赖线距测量法,该方法因操作简便、成本低而广泛应用。然而,线距测量仅提供特定切面的二维信息,难以全面反映骨增量的三维形态及体积变化^[4-5]。近年来,随着锥形束计算机断层扫描 (CBCT) 技术的应用,三维数字化体积分析逐渐成为评估骨改建的有效工具^[6-8],该方法能够定量分析骨体积及形态变化,提供更全面的评估数据^[9]。然而,目前针对线距测量与三维体积分析在PAOO术后骨增量评估中的效能差异研究尚不充分。既往研究主要集中在单一方法的评估,缺乏对两者系统性对比,可能影响评估结果的准确性及临床适用性。因此,本研究拟对比线距测量与三维体积分析在PAOO术后下前牙唇侧骨增量评估中的效能差异,以探索更精准的评估策略。具体目标包括:①比较两种方法在骨高度、厚度及体积变化评估中的一致性;②分析两种方法在三维形态评估上的差异;③探讨三维体积分析在临床应用中的价值。期望本研究能够为PAOO术后骨改建的临床评估提供更可靠的依据,推动精准化评估策略的发展。

1 资料和方法

1.1 一般资料:本研究为回顾性试点研究,通过G*Power 3.1.9.7 计算样本量[Wilcoxon signed-rank test (matched pairs), $\alpha=0.05$ 双侧, Power=0.8], 基于预实验数据假设效应量 $d=0.8$, 确定最小样本量为15例 (见图1)。结合临床资源限制及伦理审批要求,采用便利抽样法纳入2018年1月-2024年12月在佛山市第二人民医院口腔科及华南理工大学附属第六医院接受PAOO治疗的15例下前牙骨量不足患者。术前 (T0)、术后6个月 (T1) 及术后18个月 (T2) 通过锥形束CT (CBCT) 采集影像数据,并使用ORS Dragonfly软件测量骨厚度与体积 (见图2)。本研究获佛山市第二人民医院医学伦理委员会批准 (批号: 20220065), 所有患者均签署知情同意书。

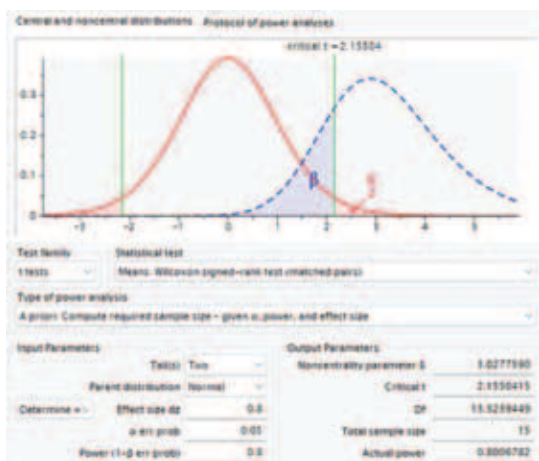


图1 经GPower软件计算患者样本量



注: A. 从患者筛选开始, 确保研究对象符合标准; B-E. 按时间顺序完成术前数据采集、PAOO手术和术后随访; F-G1/G2. 数据处理分为两种测量方法并行进行; H. 统计分析整合两种测量结果, 进行比较和一致性分析; I. 最终研究结果

图2 Consort研究试验流程图

1.2 纳入和排除标准

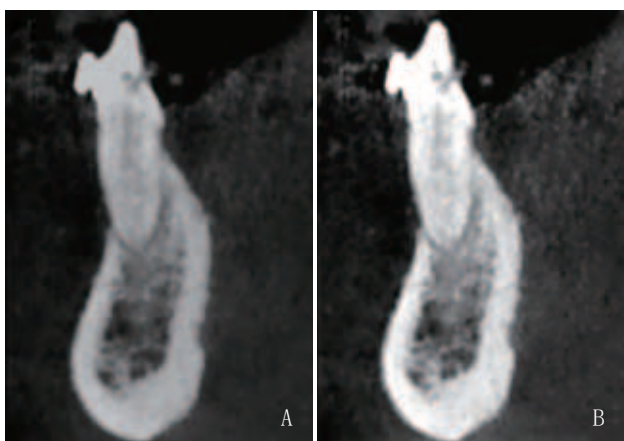
1.2.1 纳入标准: ①年龄18~40岁; ②下前牙需正畸治疗且伴唇颊侧骨量不足; ③接受PAOO手术并完成术后18个月随访; ④CBCT影像质量满足测量要求^[10]。

1.2.2 排除标准: ①存在影响骨代谢的全身疾病 (如糖尿病、骨质疏松); ②术前牙根吸收超过根长1/3或存在严重畸形; ③术后未按医嘱随访或影像数据缺失; ④CBCT图像质量不佳。

1.3 PAOO手术: PAOO手术旨在加速牙槽骨改建并促进正畸矫治过程^[11]。手术由同一组经验丰富的牙周科医生团队执行, 以确保操作的标准化和一致性^[12]。手术在含肾上腺素的甲哌卡因局部麻醉下进行, 于下前牙唇侧采用保留龈乳头的全厚瓣切口^[13], 暴露牙槽骨至根尖下3~5 mm。随

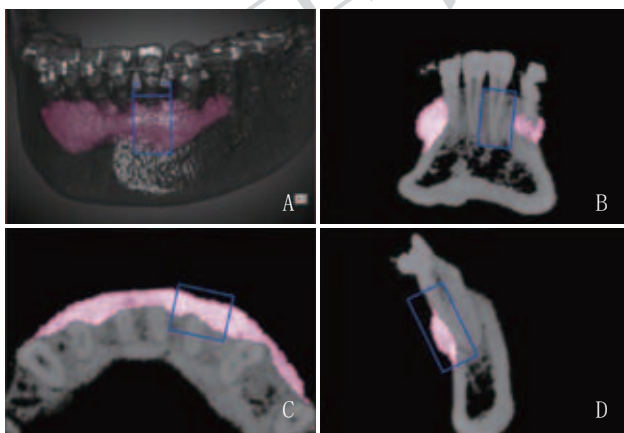
后,使用超声骨刀在牙根间切开骨皮质,深度约2 mm至松质骨层^[14],范围根据术前CBCT规划。术区覆盖Bio-Oss骨粉(Geistlich, Switzerland)作为骨移植材料,并铺设Bio-Gide可吸收胶原膜(Geistlich, Switzerland),复位缝合^[15]。术后2周开始正畸牙齿移动,由正畸医生根据常规正畸调整指南,使用镍钛弓丝(用于术后牙弓的对齐与调平)和不锈钢弓丝(用于治疗后期的精细调整与固定)对牙齿进行矫治^[16]。患者术后接受常规抗感染治疗,并通过定期随访评估骨改建效果和牙齿移动情况。

1.4 数据采集与重建:使用CBCT(NewTom Giano, 意大利)采集T0、T1和T2影像(电压90 kV、电流13 mA、曝光时间5.2 s、视野13 cm×10 cm、体素0.3 mm,选择最佳质量模式)。获取涵盖下前牙PA00植骨区域的影像数据,以DICOM格式导入三维数字化分析软件ORS Dragonfly(版本2024.1, Object Research Systems Inc., 加拿大)进行影像处理(见图3~4),软件高分辨率的影像处理天津算法为三维体积分析提供了可靠的数据支持^[17-19]。



注: A. 原始影像; B. 软件梯度域融合清晰化处理后

图3 采用ORS Dragonfly软件对CBCT数据图形清晰化处理



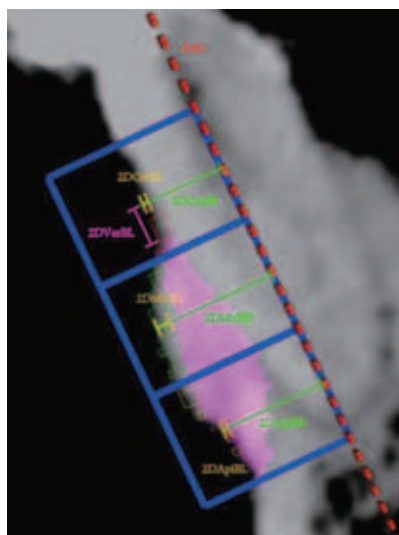
注: A. 唇侧3D视野; B. 冠状面; C. 横断面; D. 矢状面

图4 PA00术后影像数据目标采集区

1.5 测量方法:测量由两名资深牙周科副主任医师独立完

成,采用盲法设计,取两次测量的平均值,组内相关系数(ICC) > 0.9。

1.5.1 线距测量分析法:沿下前牙长轴分别在其中央及近远中截面,测量唇侧牙槽骨垂直高度(釉牙骨质界至牙槽嵴顶)^[20]和厚度(牙根颈部、中部、根尖部,自牙体长轴至唇侧骨面)。见图5。

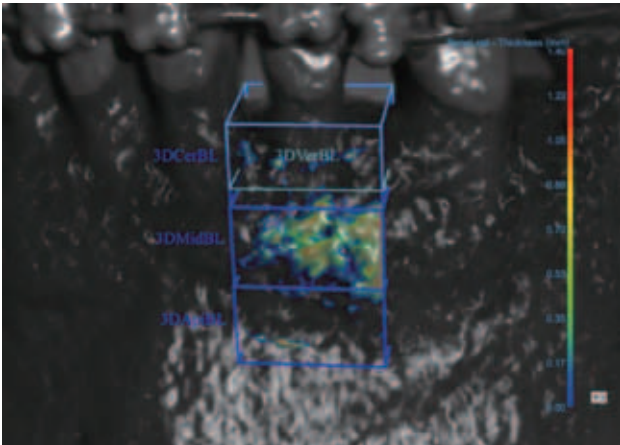


注:二维骨厚度变量包括嵴顶垂直骨水平变化(2DVerBL)、牙根颈1/3(2DCerBL)、根中1/3(2DMidBL)和根尖1/3(2DApiBL)骨厚度变化,定义为T2与T1在相应部位的差值。BL=Bone loss, BB=Baseline bone, Axis牙体长轴

图5 唇侧牙槽骨垂直高度和厚度测量

1.5.2 三维体积分析法:三维体积分析法基于CBCT影像数据。采用以下步骤进行:首先,使用互信息算法将T0、T1、T2的CBCT影像进行配准,确保测量区域一致;其次,在下颌前牙唇侧区域,划定一个长方体作为目标区域(Region of Interest, ROI),包括牙槽嵴顶至根唇侧范围,确定下前牙区的测量范围:①完全覆盖下中切牙唇侧的牙槽骨;②近中和远中边缘根据邻近牙根位置选择与下中切牙牙根间距1~2 mm的范围,这个范围取决于根间骨嵴中点的位置;③冠向边缘选择唇侧最高的牙槽嵴顶;④根向边缘为下中切牙的根尖位置;⑤垂直方向的范围从牙槽嵴顶至根尖位置。通过阈值分割法提取骨组织,经由软件量化分析,获取T1和T2之间的骨体积。见图6。

1.6 统计学分析:本研究以T1为基线,分析T2的骨厚度与骨体积变化。使用SPSS 25.0,所得数据正态性采用Shapiro-Wilk检验($P < 0.05$ 为非正态)。正态分布数据以均值±标准差表示,采用配对t检验;非正态分布数据使用Wilcoxon符号秩检验,报告中位数(IQR)及四分位距(Q1, Q3)。为比较二维与三维测量的增量差异,计算标准化增量(变化量/基线值×100%)进行检验分析。相关性分析根据正态性结果选择Pearson(正态分布)或Spearman



注：三维骨体积增量变量包括嵴顶垂直骨体积变化（3DVerBL）、牙根颈1/3（3DCerBL）、根中1/3（3DMidBL）和根尖1/3（3DApiBL）骨体积变化，定义为T2与T1的体积差值

图6 三维体积测量目标区域

（非正态分布）相关系数。所有统计分析设定显著性水平 $\alpha = 0.05$ （双侧）。

2 结果

2.1 骨量变化基本情况：本研究评估了牙周加速成骨正畸术（PAOO）术后18个月下前牙唇侧骨量的变化情况，使用二维线性测量法和三维体积分析法分别测量骨厚度与骨体积的变化。结果显示，术后18个月唇侧骨量普遍减少，其中中部区域的减幅最为显著。这些数据表明，PAOO术后骨量减少在不同区域均具有统计学意义，且中部区域的骨量变化最为明显。见表1。

2.1.1 二维线性测量：结果表明，中部骨厚度（2DMidBL）的中位数减少值为1.05 mm（IQR：0.96~1.13 mm，范围：0.00~1.19 mm， $P < 0.01$ ），颈部骨厚度（2DCerBL）的中位数减少值为0.63 mm（IQR：0.41~0.85 mm，范围：0.00~0.97 mm， $P < 0.05$ ），根尖部骨厚度（2DApiBL）的中位数减少值为0.23 mm（IQR：0.00~0.45 mm，范围：0.00~0.67 mm， $P < 0.05$ ）。

2.1.2 三维体积分析进一步显示，中部区域骨体积（3DMidBL）的中位数减少值为25.78 mm³（IQR：24.89~26.67 mm³，范围：24.23~27.89 mm³， $P < 0.01$ ），根尖部骨体积（3DApiBL）的中位数减少值为12.45 mm³（IQR：11.67~13.34 mm³，范围：11.12~14.45 mm³， $P < 0.05$ ），颈部骨体积（3DCerBL）的中位数减少值为18.56 mm³（IQR：17.67~19.45 mm³，范围：17.12~20.78 mm³， $P < 0.01$ ）。中央截面的垂直骨高度（2DVerBL）中位数减少值为0.55 mm（IQR：0.33~0.78 mm，范围：0.00~0.91 mm， $P < 0.05$ ），而三维垂直骨体积（3DVerBL）中位数减少值为15.56 mm³（IQR：14.67~16.45 mm³，范围：

14.12~17.34 mm³， $P < 0.01$ ）。这些数据表明，PAOO术后骨量减少在不同区域均具有统计学意义，且中部区域的骨量变化最为明显。

表1 中央截面上二维与三维测量手术前后差值结果

中央截面测量	中位数	Q1	Q3	最小值	最大值
二维线性测量					
2DVerBL(C)/mm	0.55	0.33	0.78	0.00	0.91
2DCerBL(C)/mm	0.63	0.41	0.85	0.00	0.97
2DMidBL(C)/mm	1.05	0.96	1.13	0.00	1.19
2DApiBL(C)/mm	0.23	0.00	0.45	0.00	0.67
2DVerBL%(C)	20.56	12.34	32.89	0.00	45.13
2DCerBL%(C)	30.56	18.23	46.91	0.00	59.24
2DMidBL%(C)	47.45	34.56	64.67	0.00	77.38
2DApiBL%(C)	4.34	0.00	12.78	0.00	19.02
2DMeanHBL%(C)	25.38	18.67	35.85	16.86	49.13
三维体积测量					
3DVerBL/mm ³	15.56	14.67	16.45	14.12	17.34
3DCerBL/mm ³	18.56	17.67	19.45	17.12	20.78
3DMidBL/mm ³	25.78	24.89	26.67	24.23	27.89
3DApiBL/mm ³	12.45	11.67	13.34	11.12	14.45
3DVerBL%(C)	22.01	21.12	23.34	20.23	24.56
3DCerBL%(C)	23.34	21.56	25.01	20.23	26.34
3DMidBL%(C)	33.34	31.56	35.01	30.23	36.34
3DApiBL%(C)	16.78	15.89	18.34	15.23	19.56
3DMeanHBL%(C)	25.01	23.23	25.79	21.90	26.64

注：2D=二维；3D=三维；Ver=垂直段；Cer=牙根颈1/3段；Mid=牙根中1/3段；Api=牙根尖1/3段；BL=骨丧失；(C)=中央截面（例如，2DVerBL%(C)=中央截面的二维垂直段骨丧失百分比）；2DMeanHBL%=3个段（颈段、中段和根尖段）的平均线性水平骨丧失百分比；3DMeanHBL%=3个段（颈段、中段和根尖段）的平均体积水平骨丧失百分比；Q1、Q3：四分位数间距。

2.2 二维与三维方法的相关性：在二维与三维测量的比较中，两种方法在部分区域显示出高度一致性，但在微小变化的检测上存在差异。相关性分析显示，中央截面的2DVerBL与3DVerBL相关系数仅为0.36（ $P = 0.20$ ），表明两者在垂直方向上的一致性较低。相比之下，中部骨厚度（2DMidBL vs. 3DMidBL）相关系数高达0.98（ $P < 0.01$ ），颈部骨厚度（2DCerBL vs. 3DCerBL）为0.95（ $P < 0.01$ ），根尖部骨厚度（2DApiBL vs. 3DApiBL）为0.88（ $P < 0.01$ ），显示出较强的一致性。近中截面和远中截面的相关性分析进一步表明，2DMidBL与3DMidBL的相关系数分别为0.96和0.94（ $P < 0.01$ ），但远中截面垂直高度（2DVerBL vs. 3DVerBL）仅为0.33（ $P = 0.25$ ）。这些结果提示，二维与三维测量在显著变化区域（如中部和颈部）高度相关，但在垂直方向的微小变化上差异明显。见表2。

表2 中央、近中、远中截面二维线性与三维体积测量相关性分析

变量	r值	P值
2DVerBL(C) vs. 3DVerBL	0.876	<0.001
2DCerBL(C) vs. 3DCerBL	0.954	<0.001
2DMidBL(C) vs. 3DMidBL	0.982	<0.001
2DApiBL(C) vs. 3DApiBL	0.883	<0.001
2DVerBL%(C) vs. 3DVerBL%	0.365	0.207
2DCerBL%(C) vs. 3DCerBL%	0.951	<0.001
2DMidBL%(C) vs. 3DMidBL%	0.946	<0.001
2DApiBL%(C) vs. 3DApiBL%	0.553	0.041
2DMeanHBL%(C) vs. 3DMeanHBL%	0.814	<0.001
2DVerBL(M) vs. 3DVerBL	0.642	0.021
2DCerBL(M) vs. 3DCerBL	0.958	<0.001
2DMidBL(M) vs. 3DMidBL	0.963	<0.001
2DApiBL(M) vs. 3DApiBL	0.907	<0.001
2DVerBL%(M) vs. 3DVerBL%	0.675	<0.001
2DCerBL%(M) vs. 3DCerBL%	0.961	<0.001
2DMidBL%(M) vs. 3DMidBL%	0.985	<0.001
2DApiBL%(M) vs. 3DApiBL%	0.453	0.126
2DMeanHBL%(M) vs. 3DMeanHBL%	0.857	<0.001
2DVerBL(D) vs. 3DVerBL	0.336	0.254
2DCerBL(D) vs. 3DCerBL	0.947	<0.001
2DMidBL(D) vs. 3DMidBL	0.942	<0.001
2DApiBL(D) vs. 3DApiBL	0.678	0.032
2DVerBL%(D) vs. 3DVerBL%	0.184	0.547
2DCerBL%(D) vs. 3DCerBL%	0.983	<0.001
2DMidBL%(D) vs. 3DMidBL%	0.986	<0.001
2DApiBL%(D) vs. 3DApiBL%	0.924	<0.001
2DMeanHBL%(D) vs. 3DMeanHBL%	0.927	<0.001

注: C=中央截面; M=近中截面; D=远中截面。

2.3 微小变化的检测能力: 三维体积分析在检测微小骨量变化方面表现出更高的敏感性。例如, 在根尖1/3区域, 二维测量记录的变化值极小 ($<0.01\text{ mm}$)、未能反映显著差异的患者中, 使用三维分析法仍检测到的骨体积减少, 该群体 ($n=5$) 中位数为 13.78 mm^3 ($IQR: 12.89\sim 14.45\text{ mm}^3$, $P<0.05$)。在根颈1/3区域, 二维测量记录的变化值 ($<0.01\text{ mm}$)、未能反映显著差异, 三维体积分析颈部 ($n=3$) 骨体积减少中位数为 19.89 mm^3 ($IQR: 19.34\sim 20.34\text{ mm}^3$)。同样, 在嵴顶垂直区域 ($n=1$) 为 16.78 mm^3 、中部 ($n=1$) 为 27.89 mm^3 , 表明三维方法能够捕获二维方法难以察觉的细微变化。见表3。

表3 线性测量骨变化极小情况下的体积骨丧失(基于中央截面测量)

区域中央截面上线性测量变化微小时的样本量(n)	[M (Q1, Q3)] 三维体积测量骨量变化/ mm^3
垂直区域 ($n=1$)	16.78
根颈1/3 ($n=3$)	19.89(19.34, 20.34)
根中1/3 ($n=1$)	27.89
根尖1/3 ($n=5$)	13.78(12.89, 14.45)

2.4 截面间骨丧失百分比的异质性: 骨丧失的百分比变化进一步揭示了不同截面间的异质性。二维测量的中央截面平均水平骨丧失百分比(2DMeanHBL%)中位数为25.38% ($IQR: 18.67\sim 35.85\%$, 范围: $16.86\sim 49.13\%$), 近中截面为22.64% ($IQR: 19.81\sim 27.34\%$, 范围: $18.18\sim 28.94\%$), 远中截面为34.92% ($IQR: 27.74\sim 55.25\%$, 范围: $21.75\sim 59.40\%$)。相关性分析显示, 中央截面的2DMeanHBL%与3DMeanHBL%相关系数为0.81 ($P<0.01$), 但垂直方向的百分比变化(2DVerBL% vs. 3DVerBL%)相关系数仅为0.365 ($P=0.207$)。这表明三维测量在反映整体骨体积变化时更趋于均匀, 而二维测量在远中截面表现出更高的变异性, 可能与局部骨代谢差异有关。见表4。

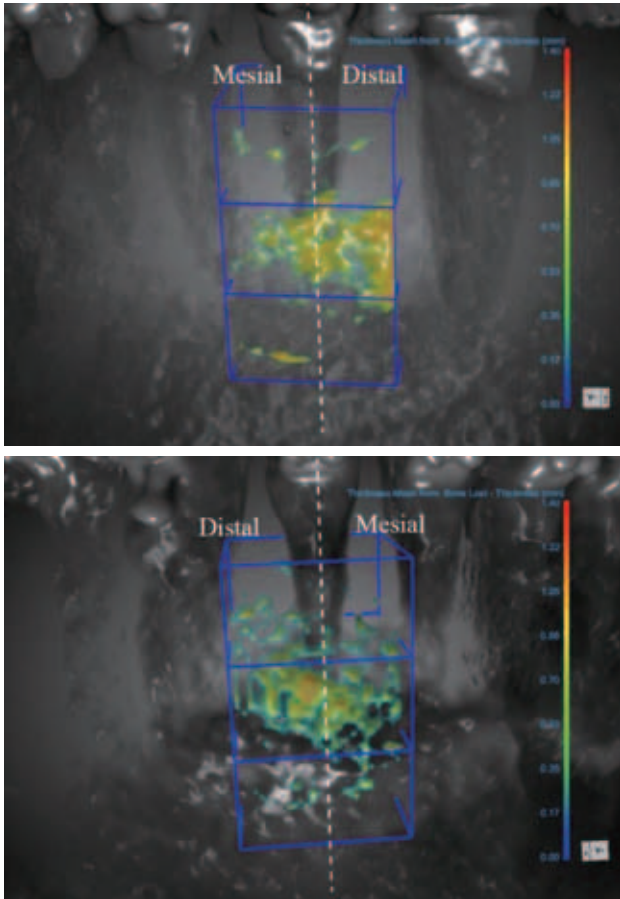
表4 二维测量近远中截面与中央截面的对比

变量	中位数	Q1	Q3	最小值	最大值	P值(对比中央截面)
2DVerBL(M)	0.60	0.45	0.70	0.00	0.80	0.418
2DCerBL(M)	0.64	0.62	0.66	0.00	0.69	0.704
2DMidBL(M)	0.89	0.85	0.93	0.82	1.00	0.015
2DApiBL(M)	0.45	0.00	0.65	0.00	0.75	0.186
2DVerBL%(M)	23.01	20.01	26.01	0.00	27.01	0.624
2DCerBL%(M)	23.31	21.71	24.91	0.00	25.71	0.073
2DMidBL%(M)	37.01	35.01	39.01	33.51	40.51	<0.001
2DApiBL%(M)	13.01	0.00	17.51	0.00	22.01	0.159
2DMeanHBL%(M)	22.64	19.81	27.34	18.18	28.94	0.037
2DVerBL(D)	0.50	0.47	0.53	0.00	0.54	0.127
2DCerBL(D)	0.79	0.66	0.90	0.00	1.00	0.026
2DMidBL(D)	1.07	0.95	1.17	0.00	1.40	0.069
2DApiBL(D)	0.11	0.00	0.13	0.00	0.14	0.673
2DVerBL%(D)	19.17	17.17	21.17	0.00	22.19	0.095
2DCerBL%(D)	58.89	36.26	64.79	0.00	65.00	<0.001
2DMidBL%(D)	60.85	40.38	90.53	0.00	100.00	0.018
2DApiBL%(D)	12.13	0.00	13.17	0.00	13.19	0.539
2DMeanHBL%(D)	34.92	27.74	55.25	21.75	59.40	<0.001

2.5 目标区骨丧失的分布情况: 厚度网格图形式进一步展示了中央截面和近远中截面的骨量减少分布, 颜色从红色到蓝色渐变, 表示骨量减少从高到低的趋势, 其中中部区域的红色区域最为集中, 与测量数据一致。见图7。

3 讨论

3.1 ORS Dragonfly软件的优势: 本研究采用ORS Dragonfly软件处理所有CBCT数据, 其核心优势体现在多维度技术支持^[21]。软件通过梯度域融合实现影像清晰化, 提升骨组织边界识别精度; 支持三维数字化重构与阈值分割技术, 确保骨体积测量的精确性; 在微小骨量变化检测中表现出更高敏感性, 可捕捉二维测量易遗漏的细微改变。Kalina E等^[22]的综述已证实, CBCT支持的三维分析能显著提升下前



注：颜色梯度从红色到蓝色，表示骨丧失量从高到低的变化（Mesial: 近中；Distal: 远中）

图7 厚度网格图展示2例前牙唇侧骨丧失

牙骨量变化检测精度，为PAOO术后骨改建评估提供可靠依据。此外，单一平台一体化处理减少多软件切换带来的系统误差，进一步保障了数据一致性，使Dragonfly成为PAOO术后骨改建精准评估的理想工具。

3.2 PAOO术后骨量变化特征：本研究系统证实，PAOO术后18个月下前牙唇侧骨量呈渐进性减少，且存在明显区域异质性，中部区域减幅最为显著。二维与三维测量均显示，骨厚度/体积减少呈现“中部>颈部>根尖部”的规律，这一变化特征可能与PAOO术后局部应力重分布、骨移植材料吸收代谢及个体代谢差异密切相关^[23]。Alsino HI等^[24-25]的系统评价指出，PAOO诱导的区域加速现象（RAP）虽能加速骨改建，但骨移植材料的长期吸收可能导致骨量减少，与本研究结果一致。Liu X等^[16]也强调，骨移植材料的稳定性直接影响PAOO术后骨量维持效果。这提示PAOO术后骨改建是复杂的动态调整过程，并非单纯的骨增量，临床需重点关注长期骨量维持情况^[26]。

3.3 垂直骨高度的测量差异：垂直骨高度评估中，二维与三维测量的敏感性差异显著。两者在中央截面和远中截面的相关系数均较低（ $r=0.33\sim 0.36$ ， $P>0.05$ ），表明二维线性测量在垂直方向评估中分辨能力有限。这一局限性源

于二维方法仅能捕捉单一平面的高度变化，无法反映垂直区域骨量在三维空间的复杂分布特征^[9]。而三维分析依托CBCT全方位数据，可精准量化垂直骨体积的微小减量，尤其在根尖1/3区域等微小变化场景中优势突出^[27]，为垂直方向骨改建监测提供更可靠的量化依据。

3.4 颈部与中部骨厚度的评估一致性：颈部和中部骨厚度评估中，二维与三维测量表现出高度一致性（ $r=0.95\sim 0.98$ ， $P<0.001$ ），验证了两种方法在捕获显著骨量变化时的可靠性。但三维分析仍展现出独特优势：二维测量可能受取样平面限制，对局部微小变化存在低估风险，而三维方法通过整体体积量化，能更全面反映骨组织的空间减量特征。这一特点使三维分析在中部和颈部骨改建评估中，可作为二维测量的有效补充，进一步提升评估的全面性。

3.5 根尖部骨量变化的测量差异：根尖部骨量变化评估更凸显两种方法的差异。二维测量对根尖部微小变化检测能力不足，部分样本测量值为0.00 mm，而三维测量仍能捕捉到明确的骨体积减量（中位数12.45~13.78 mm³）。这一差异与根尖部血供较少、正畸力作用较弱导致骨量减少幅度较小有关，二维平面取样难以捕捉此类细微变化，而三维体积量化可有效突破这一限制^[28]。Jiao Y等^[28]的研究已证实，根尖部骨厚度维持对牙根支持稳定性至关重要，因此三维方法更适用于根尖部骨改建评估，为牙根稳定性监测提供关键依据。

3.6 截面间骨量百分比变化的异质性：骨量百分比变化分析揭示了明显的截面间异质性，二维测量显示远中截面平均水平骨丧失百分比最高（34.92%），中央截面次之（25.38%），近中截面最低（22.64%）。这种异质性可能与远中截面术前骨厚度较薄、局部骨代谢活性较高相关^[29]。三维测量凭借全局量化能力，可减少局部异质值的干扰，更客观反映整体骨量变化趋势。相关性分析再次验证，除垂直百分比指标外（ $r=0.365$ ， $P=0.207$ ），其余百分比指标在两种测量方法间均呈强相关（ $r=0.814$ ， $P<0.01$ ），凸显三维方法在空间分布评估中的优势。

3.7 临床意义与应用建议：从临床实践角度，三维体积分析的高敏感性为PAOO术后骨量变化监测提供了关键技术支撑。其捕捉到的中部、根尖部等细微骨量减少，直接关系到牙槽骨稳定性与牙根支持状态，此类变化在二维测量中易被忽略，却对治疗方案调整具有重要指导价值^[30]。三维分析的精准量化可为正畸力调整、二次植骨等干预措施提供早期依据，有效优化治疗预后。考虑到三维分析存在设备成本高、操作复杂的局限性，二维测量凭借简便性和低成本，在常规随访中的骨厚度初步评估仍具有应用价值。因此，建议临床根据资源条件与评估需求合理结合两种方法：常规随访可采用二维测量进行快速筛查，关键节点（如术后18个月）或需精准决策时，优先采用三维体积分析，实现评估效能与成本效益的平衡，优化骨改建评估与

治疗规划流程。

3.8 研究局限性与未来方向：本研究的目标在于揭示PAOO术后骨量减少的区域特征及其评估方法的效能差异，强调三维体积分析在提升测量精度和治疗规划中的关键作用。当然，研究开展条件有限：样本量小（ $n=15$ ），限制了对骨量减少敏感原因的深入探讨；18个月随访未揭示更长期趋势；骨移植材料总量和正畸力未完全控制。未来研究应扩大样本量，并结合生物标记物或组织学分析，探索骨吸收与生成的平衡是否因正畸力失调^[31]。此外，评估不同随访时间点的骨量动态变化及不同骨移植材料对骨量维持的影响，或可进一步优化PAOO的长期效果^[24]。总之，本研究可以做为PAOO术后骨量减少的精准评估基础，三维体积分析的突出优势也可以为临床实践提供重要参考。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突。

[参考文献]

- [1]Chen Z, Zhou H, Zhang K, et al. The clinical efficacy of periodontally accelerated osteogenic orthodontics in patients with bone fenestration and dehiscence: a retrospective study[J]. *Head Face Med*, 2022,18(1):40.
- [2]Khamlich K, El-aouame A, Farid E Q. Periodontally accelerated osteogenic orthodontics: A narrative review[J]. *IP Int J Periodontol Implantol*, 2023,8(2):61-64.
- [3]Liu J Y, Li G F, Tang Y, et al. Multi-disciplinary treatment of maxillofacial skeletal deformities by orthognathic surgery combined with periodontal phenotype modification: A case report[J]. *World J Clin Cases*, 2022,10(25):8980-8989.
- [4]Wu Z, Gao X, Long H, et al. Quantitative analysis of facial symmetry by using three-dimensional technology[J]. *BMC Oral Health*, 2022,22(1):277.
- [5]Xu M, Sun X Y, Xu J G. Periodontally accelerated osteogenic orthodontics with platelet-rich fibrin in an adult patient with periodontal disease: A case report and review of literature[J]. *World J Clin Cases*, 2021,9(6):1367-1378.
- [6]Dostalova T, Eliasova H, Prochazka A, et al. Imaging and 3D analysis based on two or more Three-Dimensional CBCT recordings before and after orthodontic treatment and maxillofacial therapy[J]. *Appl Sci*, 2024,14(11):4829.
- [7]Gibreal O, Al-modallal Y, Mahmoud G, et al. The efficacy and accuracy of 3D-guided orthodontic piezocision: a randomized controlled trial[J]. *BMC Oral Health*, 2023,23(1):181.
- [8]Alsino H I, Hajeer M Y, Alkhouri I, et al. The diagnostic accuracy of Cone-beam computed tomography (CBCT) imaging in detecting and measuring dehiscence and fenestration in patients with class I malocclusion: a surgical-exposure-based validation study[J]. *Cureus*, 2022,14(3):e22789.
- [9]van Bakelen N B, van der Graaf J W, Kraeima J, et al. Reproducibility of 2D and 3D ramus height measurements in facial asymmetry[J]. *J Pers Med*, 2022,12(7):1181.
- [10]谢玉峰. 牙周辅助加速成骨正畸在临床治疗中的应用[J]. *中华口腔医学杂志*, 2021,56(10):978-982.
- [11]王浩儒,周守恒. PAOO技术加速正畸治疗的研究进展[J]. *大连医科大学学报*, 2024,46(4):352-356.
- [12]Wang X, Mei M, Han G, et al. Effectiveness of modified periodontally accelerated osteogenic orthodontics in skeletal Class II malocclusion treated by a camouflage approach[J]. *Am J Transl Res*, 2022,14(2):979-989.
- [13]Jiang J, Wu J, Yu W, et al. Comparative evaluation of periodontally accelerated osteogenic orthodontics (PAOO) versus traditional camouflage orthodontic treatment in adult patients with skeletal class III malocclusion[J]. *BMC Oral Health*, 2024,24(1):1479.
- [14]Jiang J H. [Application, research and prospect of periodontally accelerated osteogenic orthodontics technology][J]. *Zhonghua Kouqiang Yixue Zazhi*, 2021,56(10):971-977.
- [15]吴斯媛,艾毅龙. 两种生物膜材料在牙周辅助加速成骨正畸治疗技术中的骨增量研究[J]. *中华口腔医学研究杂志(电子版)*, 2021,15(2):79-84.
- [16]Liu X, Fan B, Abdelrehem A, et al. Membrane fixation for osseous graft stabilization in periodontally accelerated osteogenic orthodontics: a comparative study[J]. *BMC Oral Health*, 2020,20(1):22.
- [17]Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. *IEEE Trans Syst Man Cybern*, 1979,9(1):62-66.
- [18]周涛. 探析U-Net的改进机制及其在医学图像分割的应用[J]. *生物医学工程学杂志*, 2022,39(4):806-825.
- [19]Eid M, De Cecco C N, Nance J W Jr, et al. Cinematic RENDERING in CT: a novel, lifelike 3D visualization technique[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2017,209(2):370-379.
- [20]王嘉怡,郭润智,李巍然. 牙周辅助加速成骨正畸用于骨性III类正畸正颌联合治疗牙周安全性的系统评价与Meta分析[J]. *中华口腔正畸学杂志*, 2022,29(1):18-23.
- [21]Ren Q, Yang Z, Lu Y, et al. 3D X-ray microscope acts as an accurate and effective equipment of pathological diagnosis in craniofacial imaging[J]. *Sci Rep*, 2024,14(1):23275.
- [22]Kalina E, Grzebyta A, Zadurska M. Bone remodeling during orthodontic movement of lower incisors—narrative review[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022,19(22):15002.
- [23]Kuc A E, Kulgawczyk M, Sulewska M E, et al. The effect of corticotomy-assisted orthodontic therapy (CAOT) or periodontally accelerated osteogenic orthodontics (PAOO) on bone remodeling and the health of periodontium: a systematic review of systematic reviews[J]. *J Clin Med*, 2024,13(19):5726.
- [24]Alsino H I, Hajeer M Y, Burhan A S, et al. The effectiveness of periodontally accelerated osteogenic orthodontics (PAOO) in accelerating tooth movement and supporting alveolar bone thickness during orthodontic treatment: a systematic review[J]. *Cureus*, 2022,14(5):e24985.
- [25]曹阳,赵转浓. 骨皮质切开辅助正畸治疗的临床研究进展[J]. *口腔*

疾病防治, 2018,26(4):205-210.

[26]Kamal A T, Malik D E S, Fida M, et al. Does periodontally accelerated osteogenic orthodontics improve orthodontic treatment outcome? A systematic review and meta-analysis[J]. Int Orthodont, 2019,17(2):193-201.

[27]HAN Y, MIAO L, LIU J, et al. Periodontal soft tissue increase induced by periodontally accelerated osteogenic orthodontics surgery[J]. BMC Oral Health, 2022,22(1):506.

[28]Jiao Y, Liu Y, Li X, et al. Periodontally accelerated osteogenic orthodontics adjuvant camouflage therapy for Class III malocclusion: a case report[J]. BMC Oral Health, 2024,24(1):1441.

[29]Ma Z, Zhu Y, Zhan Y, et al. Periosteum coverage versus collagen-membrane coverage in periodontally accelerated osteogenic

orthodontics: a randomized controlled clinical trial in Class II and Class III malocclusions[J]. BMC Oral Health, 2022, 22(1):439.

[30]Sun L, Zhang L, Shen G, et al. Accuracy of cone-beam computed tomography in detecting alveolar bone dehiscences and fenestrations[J]. Am J Orthod Dentofac Orthop, 2015,147(3):313-323.

[31]许丽琦. 正畸骨皮质切开术加速牙移动机制的研究进展[J].口腔医学, 2021,41(5):450-455.

[收稿日期]2025-03-31

本文引用格式: 魏雅芹, 陈烈金, 黄辉, 等. PAOO术后下前牙唇侧骨量变化: 2D线性与3D体积分析的效能与临床意义[J].中国美容医学, 2026,35(3):76-83.

· 论 著 ·

血管造影辅助下皮瓣修复口腔恶性肿瘤术后创面的美学效果与安全性分析

乔青¹, 郭烂², 马壮¹

(1.株洲市中心医院口腔科 湖南 株洲 412000; 2.株洲市三三一医院口腔科 湖南 株洲 412000)

[摘要]目的: 探讨血管造影辅助下皮瓣修复口腔恶性肿瘤患者术后创面的临床应用情况, 分析其对术后整形的美学效果与安全性的影响。方法: 选取2021年6月-2024年1月于笔者医院接受治疗的92例拟行口腔恶性肿瘤切除术后皮瓣修复的患者作为研究对象, 根据随机数字表法将其分为超声检查组和血管造影组各46例, 超声检查组术前通过多普勒超声进行血管探查, 血管造影组术前通过CT血管造影(Computer Tomography Angiography, CTA)进行血管探查。比较两组患者的手术情况、术后修复情况、美学效果、口腔功能以及手术安全性评价。结果: 血管造影组的皮瓣制作吻合时间、手术时间、愈合时间均短于超声检查组($P < 0.05$); 血管造影组的皮瓣成活率与超声检查组比较差异无统计学意义($P > 0.05$), 血管造影组的皮肤组织协调性、肤色得分以及美观满意度得分均高于超声检查组($P < 0.05$); 血管造影组的吞咽功能、咀嚼功能、开合功能以及语言功能得分均高于超声检查组($P < 0.05$); 血管造影组与超声检查组的并发症发生率比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。结论: 口腔恶性肿瘤患者在血管造影辅助下进行皮瓣修复的手术效果及安全性较好, 有助于术后口腔功能和美学效果的恢复, 值得临床推广。

[关键词] 口腔恶性肿瘤; 颊癌; 皮瓣; 创面修复; 血管造影; 超声检查; 美学效果; 安全性

[中图分类号] R473.73 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-6455 (2026) 03-0083-05

Analysis of the Aesthetic Effect and Safety of Flap Repair for Postoperative Wounds of Oral Malignant Tumors Assisted by Angiography

QIAO Qing¹, GUO Lan², MA Zhuang¹

(1. Department of Stomatology, Zhuzhou Central Hospital, Zhuzhou 412000, Hunan, China; 2. Department of Stomatology, Zhuzhou 331 Hospital, Zhuzhou 412000, Hunan, China)

Abstract: Objective To explore the clinical effect of flap repair assisted by angiography in patients with oral malignant tumor, and analyze its influence on the aesthetic effect and safety of postoperative plastic surgery. **Methods** 92 patients who were treated in the hospital from June, 2021 to January, 2024 were selected as the research objects, and they were divided into