

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2023.01.007

· 临床研究 ·

成人骨性Ⅲ类错殆掩饰性正畸治疗前后切牙区牙根吸收的锥形束CT定量分析

王林娜, 张钰泽, 葛晓磊, 刘洋, 李杰, 常维维, 马文盛

河北医科大学口腔医学院·口腔医院正畸科, 河北省口腔医学重点实验室, 河北省口腔疾病临床医学研究中心, 河北石家庄(050017)

【摘要】 目的 探讨成人骨性Ⅲ类错殆掩饰性正畸治疗前后切牙区的牙根体积变化以及牙根吸收的特点, 为临床提供参考。方法 选取正畸科完成的成人骨性Ⅲ类错殆掩饰性正畸治疗的30例患者, 在治疗前后均拍摄锥形束CT(cone beam CT, CBCT), 应用数字化三维重建技术, 分别测量右侧上下颌切牙牙根整体、根颈部、根体部、根尖部体积。结果 各切牙牙根总体积及各部分体积在正畸治疗后均明显减小($P < 0.001$); 上中切牙、上侧切牙的根颈部与根体部的体积变化量较为接近, 根尖部体积变化量较大, 但无显著差异($P > 0.05$); 下中切牙、下侧切牙根尖部的体积吸收量与根颈部和根体部比较有显著差异($P < 0.01$); 所有切牙之间的牙根各部分体积吸收比例均有显著差异($P < 0.001$), 其中根尖部吸收最明显。牙根总体积、各部分体积、总体积吸收比例、根颈部和根体部吸收比例在所有切牙间均无显著差异($P > 0.05$)。下侧切牙根尖部体积吸收比例较其他切牙有显著性差异($P = 0.028$)。结论 成人骨性Ⅲ类错殆畸形在掩饰性正畸治疗后上下颌切牙的牙根吸收在根尖部表现明显, 但根颈部和根体部的体积减小也应引起医师的关注。下切牙区发生牙根吸收风险高。

【关键词】 骨性Ⅲ类错殆; 掩饰性治疗; 三维重建; 牙根吸收; 牙根体积; 锥形束CT; 交互式医学影像控制系统; 逆向工程; 逆向工程软件Geomagic

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2023)01-0034-06

【引用著录格式】 王林娜, 张钰泽, 葛晓磊, 等. 成人骨性Ⅲ类错殆掩饰性正畸治疗前后切牙区牙根吸收的锥形束CT定量分析[J]. 口腔疾病防治, 2023, 31(1): 34-39. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.2023.01.007.

Quantitative analysis of incisor root resorption before and after camouflaged orthodontic treatment of adult skeletal class III malocclusion using cone beam CT WANG Linna, Zhang Yuze, GE Xiaolei, LIU Yang, LI Jie, CHANG Weiwei, MA Wensheng. Department of Orthodontics, School and Hospital of Stomatology, Hebei Medical University, Hebei Key Laboratory of Stomatology, Hebei Clinical Research Center for Oral Diseases, Shijiazhuang 050017, China

Corresponding author: MA Wensheng, Email: wsma02@sina.com, Tel: 86-311-86266192

【Abstract】 Objective To explore the changes in root volume and root resorption in incisor arteries from adult patients with skeletal class III malocclusion before and after camouflaged orthodontic treatment and to provide a reference for the clinic. **Methods** Thirty permanent dentition adult patients with skeletal class III malocclusion were included from the Orthodontic Department. CBCT data of each patient at pretreatment and posttreatment were acquired, and 3D digital root models were reconstructed. The whole and segmented root volumes (cervical part, bodily part and apical part) of the right incisors were calculated. **Results** The root volumes (whole, cervical part, bodily part and apical part) posttreatment were smaller than those pretreatment ($P < 0.001$). Maxillary central incisors and lateral incisors showed

【收稿日期】 2022-06-30; **【修回日期】** 2022-08-17

【基金项目】 河北省科技计划资助项目(22377764D); 河北省医学科学研究课题计划项目(20221444); 河北医科大学大学生创新性实验计划项目(USIP2022243); 河北医科大学研究生教育改革项目(YJGY202024)

【作者简介】 王林娜, 主治医师, 硕士, Email: wlina90@sina.com

【通信作者】 马文盛, 主任医师, 博士, Email: wsma02@sina.com, Tel: 86-311-86266192



微信公众号

similar resorption in the cervical root and bodily root and more changes in the apical root, but there was no significant difference ($P > 0.05$). Mandibular central incisors and lateral incisors showed more root resorption in the apical root than in the cervical root and bodily root ($P < 0.01$). The absorption ratio of all segmented roots in each incisor showed a significant difference ($P < 0.001$), and apical absorption was the most obvious. There were no significant differences in root volume change amounts or the absorption ratio of the whole, cervical part and bodily part in all incisors ($P > 0.05$). The absorption ratio showed a significant difference in the mandibular lateral incisors ($P = 0.028$). **Conclusion** After camouflaged orthodontic treatment of adult skeletal class III malocclusion, incisor root resorption occurred mainly in the apical part, but the cervical and bodily parts should also be considered. There was a high risk of root resorption in the mandibular incisors.

【Key words】 skeletal class III malocclusion; camouflaged treatment; three-dimensional reconstruction; root resorption; root volume; cone beam CT; materialise's interactive medical image control system; reverse engineering; reverse engineering software Geomagic

J Prev Treat Stomatol Dis, 2023, 31(1): 34-39.

【Competing interests】 The authors declare no competing interests.

This study was supported by the grants from S & T Program of Hebei (No. 22377764D), Hebei Medical Science Research Project (No. 20221444), Hebei Medical University Student Innovative Experiment Program (No. USIP2022243) and Hebei Medical University Postgraduate Education Reform Project (No. YJGY202024).

成人骨性Ⅲ类错殆畸形是临床上较为常见的一类错殆畸形。对于轻度骨性Ⅲ类错殆患者常选择掩饰性正畸治疗,通过继续唇倾上颌前牙和舌倾下颌前牙来掩饰骨骼畸形的程度,这不可避免地会造成不同程度的牙根吸收,尤以上下切牙区牙根多发^[1-3]。以往关于牙根吸收的研究多以牙根长度变化为基准,而牙根吸收除表现为长度的减小外,更多的表现为三维体积的缩小^[4-5]。本研究利用交互式医学影像控制系统(materialise's interactive medical image control system, MIMICS)和逆向工程软件Geomagic对成人轻度骨性Ⅲ类错殆畸形掩饰性正畸治疗前后锥形束CT(cone beam CT, CBCT)数据进行分析,探讨治疗前后切牙牙根总体及各部分体积的变化,不同牙位牙根体积变化的差异,以及牙根吸收的特点,以期更好地指导临床。

1 材料和方法

1.1 一般资料

选取2016—2021年期间于河北医科大学口腔医院正畸科完成的成人骨性Ⅲ类错殆掩饰性正畸治疗的患者30例,男13例,女17例,年龄18~35岁,平均年龄(24.22 ± 2.30)岁。由两位经验丰富的正畸医师采用标准直丝弓技术完成矫治(Damon系统,Ormco公司,美国),非拔牙(下颌第三磨牙在治疗前拔除),全程轻力,治疗中进行了平均3~5个月Ⅲ类颌间牵引,并控制前牙转矩,精细调整,矫治

结束后双侧磨牙及尖牙达到中性关系,前牙建立正常覆殆覆盖。治疗时间为1.5~2.5年,平均治疗疗程为25.77个月。

纳入标准:①骨性Ⅲ类错殆, $-2^\circ < ANB < 0^\circ$, Wits值 < 0 mm;②MP-SN $< 40^\circ$, MP-FH $< 32.0^\circ$;③正中咬合时双侧第一磨牙和尖牙为近中关系,前牙反殆,治疗前下颌不能后退至前牙对刃,或下颌能后退至前牙对刃,但ANB角仍 $< 0^\circ$;④上下牙弓宽度基本正常,未使用额外扩缩弓装置;⑤上下牙列完整(除第三磨牙外),牙列拥挤度0~4 mm。切牙牙根已发育完成,形态无异常,牙髓活力正常,无外伤史,在正畸治疗期间切缘无明显改变;⑥面部基本对称,软组织侧貌凹面型;⑦所有患者在参与本次研究之前,均已签署了知情同意书。本研究已通过本单位伦理委员会审核(编号:[2021]053)。

排除标准:①有神经系统疾病或认知功能障碍、无法配合治疗及检查者;②先天特异性牙根畸形和唇腭裂患者;③切牙外伤史、根管治疗史、正畸治疗史、正颌正畸联合治疗史。

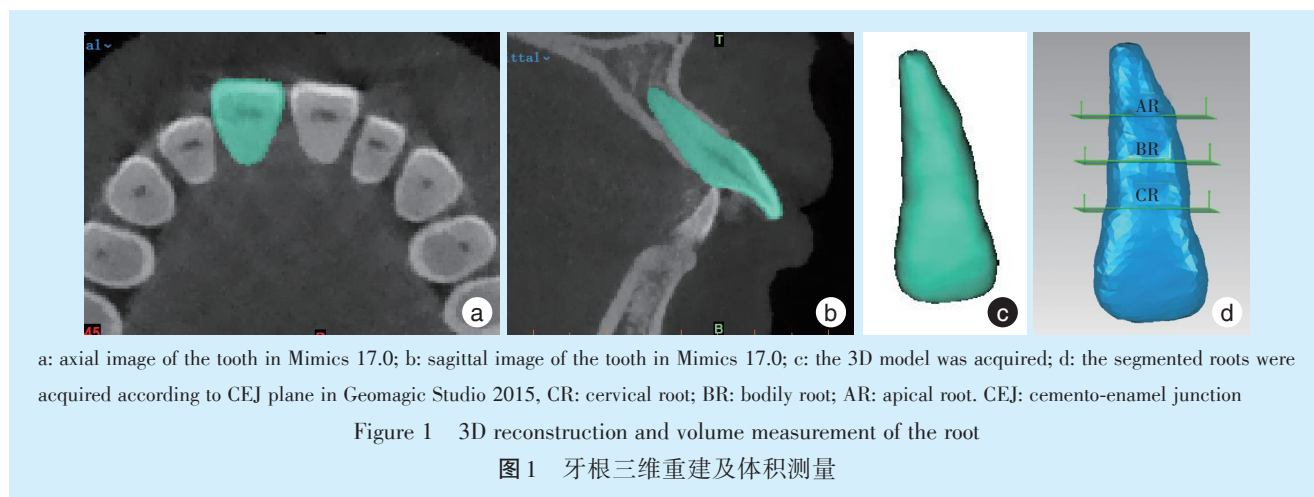
1.2 研究方法

研究对象在治疗前(T0)、治疗后(T1)均拍摄大视野CBCT(KaVo 3D eXam,德国)。扫描参数为管电压120 kV、管电流5 mA,有效曝光时间4 s,扫描层厚0.3 mm。患者拍摄体位:患者取端坐位,用下颌托调整头位,使眶耳平面与地面平行,上下牙列轻闭于牙尖交错位,上下唇自然闭合。所有研

研究对象均由放射科同一医师用同一台CBCT机进行图像采集。

将所有采集到的医学图像首先经CBCT专用图形工作站进行处理和数字化,并将以上数字医学图像统一保存为DICOM存储格式。采用Mimics 17.0(Materialise,比利时)软件读取后,通过阈值分割(阈值1 279~4 287)、区域增长、逐层编辑修改等对正畸治疗前后右上中切牙、右上侧切牙、右下中切牙、右下侧切牙进行三维模型重建,并将结果以STL格式输出保存(图1a~1c)。将所得文件导

入Geomagic Studio 2015(Geomagic,美国)软件,参考吕航苗等^[6]的研究方法,创建釉牙骨质界(cemento-enamel junction, CEJ)平面为平面1,将平面1向根方平移4 mm创建平面2,将平面2向根方平移4 mm创建平面3,以这些平面为界分别定义得到根颈部(CR)、根中部(BR)、根尖部牙根(AR),分别测量各部分牙根体积(图1d)。所有测量工作均由同一医师间隔2周重复测量2次[$ICC=0.996$, $95\%CI(0.991, 0.997)$],最终取平均值。



1.3 统计学分析

使用SPSS 21.0软件进行统计学分析。计量资料符合正态分布,用均数 \pm 标准差表示。应用配对 t 检验分析各切牙牙根总体积和各部分体积在治疗前后是否存在差异。采用重复测量单因素方差分析比较同一牙位的牙根各部分体积变化量及吸收比例有无差异,比较牙根体积变化量及吸收比例在不同牙位中的差异,组间差异比较采用最小显著差异法(LSD检验)。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 掩饰性正畸治疗前后各切牙牙根总体积和各部分体积的变化

治疗前后各切牙牙根总体积、根颈部体积、根体部体积、根尖部体积均发生显著变化,在正畸治疗后均显著减小,差异具有统计学意义($P < 0.001$) (表1)。

2.2 掩饰性正畸治疗前后上下切牙牙根体积变化量及吸收比例的比较

上中切牙、上侧切牙的根颈部与根体部的体

积变化量较为接近,根尖部体积变化量稍大,但差异无统计学意义($P > 0.05$)。下中切牙、下侧切牙在根颈部、根体部、根尖部的体积变化量有统计学差异($P < 0.01$),且组间比较显示相较于根颈部和根体部,下中切牙、下侧切牙根尖部的体积吸收量尤为显著。

在体积吸收比例方面,所有切牙的牙根各部分体积吸收比例均有统计学差异($P < 0.001$)。其中上中切牙和上侧切牙的根颈部和根体部无显著差异,但根尖部的吸收比例($25.82\% \pm 16.84\%$, $23.86\% \pm 16.61\%$)都表现出显著性增大。下中切牙、下侧切牙牙根各部分吸收比例均有明显差异,且整体表现为根尖部 $>$ 根体部 $>$ 根颈部,根尖部的吸收比例($31.86\% \pm 15.05\%$, $34.88\% \pm 15.06\%$)显著较高(表2)。

2.3 掩饰性正畸治疗前后牙根体积变化量及吸收比例在不同牙位中的比较

牙根总体积、各部分体积、总体积吸收比例、根颈部体积吸收比例、根体部体积吸收比例在所有切牙间均无显著差异($P > 0.05$)。对于根尖部体积吸收比例,下侧切牙较其他切牙有显著性差异

表1 掩饰性正畸治疗前后切牙牙根体积的配对t检验

Table 1 The root volume of incisors between pretreatment and posttreatment (Paired-samples *t* test)

Position	Before treatment (T0)	After treatment (T1)	<i>t</i>	<i>P</i>
UCI				
V_{WR}/mm^3	244.57 ± 12.73	220.93 ± 18.98	9.50	< 0.001
V_{CR}/mm^3	141.06 ± 7.90	133.55 ± 10.18	6.73	< 0.001
V_{BR}/mm^3	66.82 ± 3.48	60.12 ± 6.22	7.09	< 0.001
V_{AR}/mm^3	36.69 ± 3.14	27.27 ± 6.56	8.81	< 0.001
ULI				
V_{WR}/mm^3	239.42 ± 13.20	214.82 ± 14.52	9.52	< 0.001
V_{CR}/mm^3	133.93 ± 10.14	126.05 ± 9.94	9.33	< 0.001
V_{BR}/mm^3	64.64 ± 3.56	57.66 ± 3.93	9.52	< 0.001
V_{AR}/mm^3	40.85 ± 7.94	31.10 ± 8.87	7.64	< 0.001
LCI				
V_{WR}/mm^3	211.32 ± 19.58	188.42 ± 19.45	9.80	< 0.001
V_{CR}/mm^3	122.37 ± 11.94	115.70 ± 11.71	6.43	< 0.001
V_{BR}/mm^3	57.97 ± 5.37	51.86 ± 5.49	8.95	< 0.001
V_{AR}/mm^3	30.98 ± 4.69	20.87 ± 4.58	10.76	< 0.001
LLI				
V_{WR}/mm^3	213.92 ± 14.62	187.83 ± 14.23	11.49	< 0.001
V_{CR}/mm^3	123.22 ± 9.70	115.52 ± 8.78	7.01	< 0.001
V_{BR}/mm^3	58.68 ± 4.01	51.44 ± 4.36	10.39	< 0.001
V_{AR}/mm^3	32.01 ± 4.50	20.86 ± 5.65	12.89	< 0.001

UCI: upper central incisor; ULI: upper lateral incisor; LCI: lower central incisor; LLI: lower lateral incisor; V_{WR} : volume of whole root; V_{CR} : volume of cervical root; V_{BR} : volume of bodily root; V_{AR} : volume of apical root

表2 掩饰性正畸治疗前后上下切牙牙根各部分体积变化量及吸收比例的比较

Table 2 The root volume changing amounts and absorption ratio of all segmented roots

Position	CR	BR	AR	<i>P</i>
UCI				
$\Delta V/mm^3$	7.52 ± 6.12	6.70 ± 5.17	9.42 ± 5.86	0.174
R (%)	5.34 ± 4.36	10.04 ± 7.78	25.82 ± 16.84	< 0.001
ULI				
$\Delta V/mm^3$	7.88 ± 4.63	6.98 ± 4.02	9.74 ± 6.99	0.133
R (%)	5.83 ± 3.37	10.67 ± 5.94	23.86 ± 16.61	< 0.001
LCI				
$\Delta V/mm^3$	6.67 ± 5.69	6.11 ± 3.73	10.11 ± 5.15	0.004
R (%)	5.36 ± 4.43	10.39 ± 6.29	31.86 ± 15.05	< 0.001
LLI				
$\Delta V/mm^3$	7.71 ± 6.02	7.24 ± 3.82	11.14 ± 4.74	0.005
R (%)	6.12 ± 4.57	12.21 ± 6.43	34.88 ± 15.06	< 0.001

UCI: upper central incisor; ULI: upper lateral incisor; LCI: lower central incisor; LLI: lower lateral incisor; ΔV : root volume changing amounts; R: absorption ratio; CR: cervical root; BR: bodily root; AR: apical root; V_{T0} : root volume of pretreatment; V_{T1} : root volume of posttreatment; $\Delta V (mm^3) = V_{T0} - V_{T1}$; $R(\%) = \Delta V/V_{T0} \times 100\%$

($P = 0.028$)。下中切牙和下侧切牙的吸收比例 ($31.86\% \pm 15.05\%$, $34.88\% \pm 15.06\%$) 显著较高 (表3)。

表3 掩饰性正畸治疗前后牙根体积变化量及吸收比例在不同牙位中的差异

Table 3 The root volume changing amounts and absorption ratio in different incisors

Position	UCI	ULI	LCI	LLI	<i>P</i>
V_{WR}/mm^3	23.64 ± 14.88	24.60 ± 14.15	22.90 ± 12.80	26.10 ± 12.44	0.139
V_{CR}/mm^3	7.52 ± 6.12	7.88 ± 4.63	6.67 ± 5.69	7.71 ± 6.02	0.848
V_{BR}/mm^3	6.70 ± 5.17	6.98 ± 4.02	6.11 ± 3.74	7.24 ± 3.82	0.757
V_{AR}/mm^3	9.42 ± 5.86	9.74 ± 6.99	10.11 ± 5.15	11.14 ± 4.74	0.678
$R_{WR}(\%)$	9.69 ± 5.66	10.16 ± 5.64	10.69 ± 5.90	12.05 ± 5.66	0.413
$R_{CR}(\%)$	5.34 ± 4.36	5.83 ± 3.37	5.36 ± 4.43	6.12 ± 4.57	0.867
$R_{BR}(\%)$	10.04 ± 7.78	10.67 ± 5.94	10.39 ± 6.30	12.21 ± 6.43	0.602
$R_{AR}(\%)$	25.82 ± 16.84	23.86 ± 16.61	31.86 ± 15.05	34.88 ± 15.06	0.028

V_{WR} : volume of whole root; V_{CR} : volume of cervical root; V_{BR} : volume of bodily root; V_{AR} : volume of apical root; R_{WR} : absorption ratio of whole root; R_{CR} : absorption ratio of cervical root; R_{BR} : absorption ratio of bodily root; R_{AR} : absorption ratio of apical root; UCI: upper central incisor; ULI: upper lateral incisor; LCI: lower central incisor; LLI: lower lateral incisor

3 讨论

正畸性牙根吸收是在牙齿移动过程中, 牙根表面受到挤压, 激活破骨细胞, 表面类骨质消失, 出现蚕食状小凹陷, 逐渐进展到牙本质, 表现为牙根缩短, 体积减小, 是正畸治疗较为常见的并发症之一^[7]。随着三维影像技术应用于口腔领域, 三维定量的测量方法已被证明明显优于二维定性或者半定量的方法, CBCT测量在体牙三维体积的准确性及重复性均较高^[8-11]。Mimics软件可以真实还原CBCT影像的三维信息, 从三维立体角度观察牙根吸收。因此, 本研究将CBCT与数字化软件及三维重建技术相结合, 可以对牙根体积进行科学量化的评估。

牙根吸收是健康矫治关注的一个重点。研究表明牙根吸收在切牙区的发生率最高^[12], 且Moto-kawa等^[13]认为骨性Ⅲ类患者易发生严重根吸收。本研究中, 正畸治疗后各切牙的牙根总体积及各部分体积均显著减小, 表明所有切牙都发生了不同程度的牙根吸收。为深入探究牙根吸收的特点, 本研究以釉牙骨质界平面为基准创建并平移平面, 获得了根颈部、根体和根尖部牙根。结果表明, 对于上颌切牙, 根颈部与根体部的体积变化量相差不大, 而根尖部的体积变化量较大。对于

下颌切牙,根尖部的体积吸收量尤为显著。说明相较于根颈部与根体部,切牙根尖部的牙根吸收最为明显,由于治疗中为纠正前牙反骀,增加了上颌切牙唇倾和下颌切牙舌倾,来代偿上下颌骨的矢状向不调,牙根移动距离较大,同时为改善患者垂直向不调,发生龈向压低或伸长等复合运动,增加了根尖触碰骨皮质的机会,且持续受力时间长。Rudolph等^[14]研究表明,压低力、伸长力以及旋转力加载于切牙后应力主要集中在根尖区。高娟等^[15]对正畸正颌联合治疗的骨性Ⅲ类错骀研究中发现,当上下中切牙以整体或控根移动方式为主时,牙根颈部和牙根体部均发生牙根吸收,牙根体部吸收较根颈部吸收显著;以倾斜移动和垂直向移动为主时,牙根吸收的部位易发生在牙根体部。但其所述的牙根体部在本研究中更为详细地划分为根体部和根尖部,结果显示根尖部的体积吸收明显,提示牙齿的复合性的不同移动方式有可能导致上下颌切牙牙根吸收量和吸收位置的差异。在本研究中根颈部和根体部只是发生了浅表的轻微吸收,但根颈部和根体部的牙根吸收也不能忽视,仍应引起正畸医师的关注。

国内外学者对同一区段不同牙位的牙根吸收是否存在差异的研究结论不一。Segal等^[16]认为同一区段不同牙位牙根吸收情况没有差异;但Vardimon等^[17]认为同一牙弓区段不同牙位牙根吸收情况存在差异。本研究中,上颌中切牙和侧切牙牙根吸收无明显差异,可能是在治疗中对上切牙均施加了一定负转矩,减小了牙齿的倾斜移动范围,而且在治疗初期充分利用功能性因素和骀平面调整对覆骀覆盖建立的影响,减小了牙齿代偿压力。同时,全程细丝轻力也对减少牙根吸收有重要作用。Park等^[18]也认为代偿治疗中要特别注意切牙区牙齿轻力的使用,以减少牙根吸收的发生。从吸收比例来看,各切牙根颈部、根体部和根尖部的比约为1:2:5,且下切牙根尖部吸收比例高达31%和34%,虽然上下颌切牙在解剖形态和功能上都较为接近,但本结果仍表明下切牙发生牙根吸收的风险相对较高。可能是由于骨性Ⅲ类错骀下颌的牙槽骨相对高、窄,根尖容易碰到骨皮质,导致牙根吸收^[19]。因此正畸医师在代偿治疗过程中下颌切牙要适度增加唇向转矩,使牙根尖尽量直立于牙槽骨中央,以减少下切牙牙根吸收的发生。本研究中尽管下侧切牙根尖部体积变化量与其他切牙无差异,但其根尖部体积吸收比例较其

他切牙有显著性差异,推断可能是施加于侧切牙远中的Ⅲ类牵引力作用加重侧切牙的根尖吸收,也可能是治疗过程中部分下侧切牙因转矩不足无法避免根尖碰到骨皮质。王芳等^[20]研究表明,当唇倾角度改变量在7°以下时,牙根体积的改变量与唇倾角度改变量之间没有明确的关系,当唇倾角度变化达到7°及以上时牙根体积发生了较为明显的减小,且两者之间存在明显线性关系。而本研究并未将牙齿倾斜角度作为观察指标,所以不能阐释牙齿倾斜角度与牙齿体积变化量之间的量化关系,尚需要进行后续研究。

牙根吸收的影响因素较多,包括遗传因素、系统性疾病、年龄、牙根形态、正畸治疗时间、牙齿移动方式等^[21-23]。本研究纳入样本均为非拔牙、轻度拥挤、相同矫治器、轻力及治疗时间等基本一致,尽量避免了干扰因素的影响。但本研究所选研究对象牙根吸收风险较高,仍需要增加相关评价指标、增加样本量等来进一步探讨。

综上,三维牙根体积的测量是一种评估牙根吸收科学而有效的手段。成人骨性Ⅲ类错骀畸形在掩饰性正畸治疗后上下颌切牙的牙根吸收在根尖部表现明显,但根颈部和根体部的体积减小也应引起医师的关注。下切牙区发生牙根吸收的风险高,提示正畸医师应注意牙齿移动速度与方式,尽量避免严重牙根吸收的发生。

【Author contributions】 Wang LN wrote the article and analyzed the data. Zhang YZ, Ge XL, Liu Y, Li J and Chang WW collected case material and analyzed the data. Ma WS designed the study and reviewed the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

参考文献

- [1] Eslami S, Faber J, Fateh A, et al. Treatment decision in adult patients with class Ⅲ malocclusion: surgery versus orthodontics[J]. *Prog Orthod*, 2018, 19(1): 28. doi: 10.1186/s40510-018-0218-0.
- [2] Li X, Xu J, Yin Y, et al. Association between root resorption and tooth development: a quantitative clinical study[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2020, 157(5): 602-610. doi: 10.1016/j.ajodo.2019.11.011.
- [3] Araujo MTS, Squeff LR. Orthodontic camouflage as a treatment alternative for skeletal Class III[J]. *Dental Press J Orthod*, 2021, 26(4): e211bbo4. doi: 10.1590/2177-6709.26.4.e211bbo4.
- [4] Liu W, Shao J, Li S, et al. Volumetric cone-beam computed tomography evaluation and risk factor analysis of external apical root resorption with clear aligner therapy[J]. *Angle Orthod*, 2021, 91(5): 597-603. doi: 10.2319/111820-943.1.
- [5] Deng Y, Sun Y, Xu T. Evaluation of root resorption after compre-

- hensive orthodontic treatment using cone beam computed tomography (CBCT): a meta-analysis[J]. *BMC Oral Health*, 2018, 18(1): 116-130. doi: 10.1186/s12903-018-0579-2.
- [6] 吕航苗, 高娟, 马慧敏, 等. 锥束CT三维重建技术应用于骨性Ⅲ类错殆患者上前牙牙根吸收的研究[J]. *中华口腔正畸学杂志*, 2020, 27(3): 129-133. doi: 10.3760/cma.j.cn115797-20200407-20303.
- Lv HM, Gao J, Ma HM, et al. Three-dimensional root resorption evaluation of maxillary anterior teeth in skeletal class Ⅲ patients: a cone beam computed tomography study[J]. *Chin J Orthod*, 2020, 27(3): 129-133. doi: 10.3760/cma.j.cn115797-20200407-20303.
- [7] Sameshima GT, Iglesias-Linares A. Orthodontic root resorption[J]. *J World Fed Orthod*, 2021, 10(4): 135 - 143. doi: 10.1016/j.ejwf.2021.09.003.
- [8] Bellini-Pereira SA, Almeida J, Aliaga-Del Castillo A, et al. Evaluation of root resorption following orthodontic intrusion: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Orthod*, 2021, 43(4): 432-441. doi: 10.1093/ejo/cjaa054.
- [9] 陈佳君, 薛超然, 王沛祺, 等. 正畸治疗中利用锥形束CT测量牙根位置方法的研究进展[J]. *口腔疾病防治*, 2022, 30(10): 740-745. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.2022.10.009.
- Chen JJ, Xue CR, Wang PQ, et al. Research progress on root position measurement methods in orthodontic treatment using cone beam CT[J]. *J Prev Treat Stomatol Dis*, 2022, 30(10): 740-745. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2022.10.009.
- [10] Samandara A, Papageorgiou SN, Ioannidou-Marathiotou I, et al. Evaluation of orthodontically induced external root resorption following orthodontic treatment using cone beam computed tomography (CBCT): a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Orthod*, 2019, 41(1): 67-79. doi: 10.1093/ejo/cjy027.
- [11] 杨偲, 全淑琪, 邢珂, 等. 成年高角女性下前牙区牙槽骨形态分析[J]. *口腔疾病防治*, 2022, 30(1): 33 - 38. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2022.01.006.
- Yang C, Quan SQ, Xing K, et al. Morphological analysis of mandibular anterior alveolar bone in high-angle adult females assessed with cone-beam computed tomography[J]. *J Prev Treat Stomatol Dis*, 2022, 30(1): 33 - 38. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2022.01.006.
- [12] Pan Y, Chen S. Contact of the incisive canal and upper central incisors causing root resorption after retraction with orthodontic mini-implants: a CBCT study[J]. *Angle Orthod*, 2019, 89(2): 200-205. doi:10.2319/042318-311.1.
- [13] Motokawa M, Sasamoto T, Kaku M, et al. Association between root resorption incident to orthodontic treatment and treatment factors [J]. *Eur J Orthod*, 2012, 34(3): 350-356. doi: 10.1093/ejo/cjr018.
- [14] Rudolph DJ, Willes PMG, Sameshima GT. A finite element model of apical force distribution from orthodontic tooth movement[J]. *Angle Orthod*, 2001, 71(2): 127 - 131. doi: 10.1043/0003 - 3219 (2001)071 <0127:AFEMOA > 2.0.CO;2.
- [15] 高娟, 吕航苗, 马慧敏, 等. 锥形束CT三维体积测量评估骨性Ⅲ类错殆正畸正颌治疗后的牙根吸收[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2022, 54(4): 719 - 726. doi: 10.19723/j.issn.1671 - 167X.2022.04.022.
- Gao J, Lv HM, Ma HM, et al. Evaluation of root resorption after surgical orthodontic treatment of skeletal Class Ⅲ malocclusion by three-dimensional volumetric measurement with CBCT[J]. *J Peking University (Health Sci)*, 2022, 54(4): 719-726. doi: 10.19723/j.issn.1671-167X.2022.04.022.
- [16] Segal GR, Schiffman PH, Tuncay OC. Meta analysis of the treatment-related factors of external apical root resorption[J]. *Orthod Craniofac Res*, 2004, 7(2): 71 - 78. doi: 10.1111/j.1601 - 6343.2004.00286.x.
- [17] Vardimon AD, Oren E, Ben-Bassat Y. Cortical bone remodeling/tooth movement ratio during maxillary incisor retraction with tip versus torque movements[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1998, 114(5): 520-529. doi: 10.1016/s0889-5406(98)70172-6.
- [18] Park JH, Emamy M, Lee SH. Adult skeletal class Ⅲ correction with camouflage orthodontic treatment[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2019, 156(6): 858 - 869. doi: 10.1016/j.ajodo.2018.07.029.
- [19] Raber A, Kula K, Ghoneima A. Three-dimensional evaluation of labial alveolar bone overlying the maxillary and mandibular incisors in different skeletal classifications of malocclusion[J]. *Int Orthod*, 2019, 17(2): 287-295. doi: 10.1016/j.ortho.2019.03.011.
- [20] 王芳, 王建国, 张锡忠. 成人骨性Ⅲ类错畸去代偿后切牙牙根吸收的CBCT研究[J]. *天津医药*, 2015, 43(4): 390-393. doi: 10.11958/j.issn.0253-9896.2015.04.015.
- Wang F, Wang JG, Zhang XZ, et al. Examining incisor root resorption using CBCT after orthodontic treatment for adults with skeletal class Ⅲ malocclusion[J]. *Tianjin Med J*, 2015, 43(4): 390-393. doi: 10.11958/j.issn.0253-9896.2015.04.015.
- [21] Li Y, Deng S, Mei L, et al. Prevalence and severity of apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: a cone beam computed tomography study[J]. *Prog Orthod*, 2020 21(1):1. doi: 10.1186/s40510-019-0301-1.
- [22] Gandhi V, Mehta S, Gauthier M, et al. Comparison of external apical root resorption with clear aligners and pre-adjusted edgewise appliances in non-extraction cases: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Orthod*, 2021, 43(1): 15 - 24. doi: 10.1093/ejo/cjaa013.
- [23] Jue W, Ejvis L, Terpsithea C, et al. A randomized trial on the effects of root resorption after orthodontic treatment using pulsating force[J]. *BMC Oral Health*, 2020, 20(1): 238. doi: 10.1186/s12903-020-01226-z.

(编辑 周春华, 李昉劼)



官网