

## 两种3D打印导板在托槽间接粘接中的准确性比较

杨椿浩,李岩峰,夏冬,施婷婷  
解放军总医院第四医学中心口腔科,北京 100048

**【摘要】目的:**评估两种3D打印导板在辅助托槽间接粘接时准确性的差异。**方法:**利用离体牙按照牙弓形态排牙,标记测量点建立实验模型备用。通过数字化扫描仪获取数字化模型,利用计算机软件设计3D打印整段式和单牙位导板。通过制作的间接粘接导板将托槽转移定位到实验模型,测量标记点与托槽特定位点间距离,对转移前后距离的变化进行统计学分析。**结果:**通过配对 $t$ 检验分析,整段式和单牙式两种3D打印导板在托槽转移前后位置变化差值分别为 $(0.21\pm 0.05)$  mm、 $(0.22\pm 0.05)$  mm,两者无统计学差异( $P>0.05$ )。**结论:**在上述实验条件下,两种3D打印导板在辅助托槽间接粘接过程中准确性无明显差异。

**【关键词】**正畸;3D打印导板;间接粘接;准确性

**【中图分类号】**R318;R783.5

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2021)07-0898-05

## Comparison of the accuracy of bracket placement between two kinds of 3D printed guide plates in indirect bonding

YANG Chunhao, LI Yanfeng, XIA Dong, SHI Tingting

Department of Stomatology, the Fourth Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100048, China

**Abstract: Objective** To evaluate the difference in the accuracy of bracket placement between two kinds of 3D printed guide plates in assisting indirect orthodontic bracket bonding. **Methods** The experimental model was established by arranging *in vitro* teeth according to dental arch form and marking measurement points, and then its digital model was obtained through a digital scanner. Two kinds of 3D printed guide plates, namely 3D printed whole-section and single-tooth guide plates, were designed by computer software. The brackets were transferred to the experimental model through the manufactured guide plates for indirect bonding. The distances between the markers and the specific positions of the bracket were measured, and the changes of the distances before and after the transfer were statistically analyzed. **Results** The results of paired  $t$ -test analysis showed that the deviations in the position changes of the whole-segment and single-tooth 3D printed guides before and after bracket transfer were  $(0.21\pm 0.05)$  mm and  $(0.22\pm 0.05)$  mm, respectively. There was no statistical difference in bracket placement accuracy in two kinds of 3D printed guide plates ( $P>0.05$ ). **Conclusion** Under the above experimental conditions, two kinds of 3D print guide plates in assisting indirect orthodontic bracket bonding have similar accuracy of bracket placement.

**Keywords:** orthodontics; 3D printed guide plate; indirect bonding; accuracy

### 前言

1972年, Silverman等<sup>[1]</sup>提出正畸托槽间接粘接技术并应用于临床实践。正畸间接粘接是一种通过在患者的矫治前模型上直视而确定托槽的位置并制作间接粘接转移导板完成托槽口内粘接的技术。众

多研究报道均表明间接粘接具有较好的准确性及粘接必要性。传统的间接粘接技术在提高托槽定位准确性的同时由于操作步骤繁琐需要消耗大量的时间且任一步骤的差错都会影响最终矫治效果<sup>[2]</sup>。近年来,依托数字化信息技术、精密机械及材料学等多学科交叉联合发展起来的3D打印技术正越来越广泛地应用于口腔医疗领域<sup>[3]</sup>,由于其可快速而精确地制造复杂精密装置,具有广泛的临床应用前景,现已成为正畸领域最热门的技术之一<sup>[4]</sup>。与此同时,数字化扫描技术的成熟与应用<sup>[5-6]</sup>以及在此基础上与医学影像、Mimics软件、有限元分析软件等的联合应用<sup>[7-8]</sup>实

**【收稿日期】**2021-02-10

**【作者简介】**杨椿浩,硕士研究生,住院医师,研究方向:正畸间接粘接,  
E-mail: yangchunhaohao@126.com

**【通信作者】**李岩峰,博士,主任医师,博士, E-mail: m.god@yeah.net

现了牙冠、牙根、牙槽骨、软组织的整合,使得医护人员能更快速、准确地获取患者全方位的三维信息<sup>[9]</sup>,从而完成对患者的诊断、模拟治疗及治疗效果的预测,当然也能够完成对托槽的辅助定位<sup>[10]</sup>。只需要通过计算机辅助设计软件即可完成托槽的定位,进而完成转移导板的制作<sup>[11]</sup>。由于3D打印技术可使材料具有灵活多变的设计性,国内外对用于间接粘接的3D打印导板样式报导不一,常见有整段式多牙位和单牙位的导板。本研究探讨了整段式多牙位与单牙位3D打印导板在托槽间接粘接时的准确性。

## 1 资料与方法

### 1.1 设备与材料

采用3Shape TRIOS® Standard口内扫描仪(3Shape, 丹麦, 扫描精度20 μm); 3D打印机ProJet® 3510 DP(3D Systems, 美国); 打印材料VisiJet® StonePlast(丙烯酸-丁二烯-苯乙烯共聚物); 正畸托槽3M Victory Series™ Low Profile MBT™; 粘接剂3M Unitek Transbond™ XT(3M, 美国); 正畸喷砂机(Masel, 美国); 光固化灯(Dentsply, 美国); 离体牙; 基托树脂材料(上海新世纪齿科材料有限公司, 中国)。计算机辅助设计软件包括3Shape OrthoAnalyzer™和3Shape Dental System(3Shape, 丹麦); Mimics(Materialise, 比利时)。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 建模** 体外收集140颗离体牙(唇颊面无明显缺损、充填体, 牙冠形态正常), 消毒处理备用。按照牙弓形态在体外排牙, 建立5副上、下颌正畸错殆模型, 排牙标准: 安氏I类、拥挤度<4 mm、Spee曲线深度0~2 mm、牙齿扭转<5°。利用高速涡轮手机及微创车针(固美车针HM249M.314.007)分别在牙冠的颈1/3沿牙长轴近远中邻面距离相等唇面最凸点(约距龈缘2 mm处)、切1/3远中(距邻接点约1 mm处)的位置做标记点, 用于实验测量, 并以此模型作为实验模型(图1)。



图1 上、下颌模型

Fig.1 Maxillary and mandible model

**1.2.2 实验方法** 计算机辅助设计、3D打印制作间接粘接整段式导板: 利用3Shape TRIOS® Standard口内扫描仪, 对实验模型分别进行数字化扫描, 由此建立数字化牙颌模型(图2)。



图2 数字化模型

Fig.2 Digital model

在3Shape软件内处理数字化模型, 标记每牙近远中接触点及其龈缘线以完成齿龈分离, 确定牙冠长轴方向和临床冠中心。选取上颌双侧第一磨牙近中颊尖顶及中切牙接触点, 确定3点构成的平面为咬合平面。调取3Shape OrthoAnalyzer™正畸分析软件托槽数据库中实验所用托槽3M Victory Series™ Low Profile MBT™的数据, 系统自动将托槽与相对应牙齿的临床冠中心进行匹配, 由正畸医生根据牙齿扭转不齐情况适当调整个别托槽位置, 确保托槽位置理想并将此时的实验数据以.stl格式保存。

利用3Shape Dental System软件打开以.stl格式保存输出的托槽及牙齿模型数据, 并用此软件设计上下颌前牙及前磨牙的间接粘接3D打印导板。首先, 将托槽和牙齿数据进行拟合, 根据牙列情况选取导板就位方向, 设定导板厚度1 mm; 然后, 软件根据所选就位方向, 自动填充该就位方向上的倒凹, 由此设计整段组导板。将导板数据输入3D打印设备, 由3D打印设备Projet 3510 DP对材料VisiJet® StonePlast进行选择性的激光烧结成型, 打印出实体托槽转移导板(图3)。

将托槽放入3D打印整段式导板内, 利用正畸粘接剂3M Unitek Transbond™ XT完成对托槽的间接粘接(图4)。

利用Mimics软件对数字化实验模型上托槽特定点(托槽下翼与背板交接点及托槽远中下翼凸点, 图5)与牙冠标记点间距离进行3次测量并记录。利用改良游标卡尺(图6), 对如上完成托槽转移后的托槽特定点与标记点间距离进行3次测量并记录。

采用上述方式重新制作3D打印单牙式导板并对托槽进行间接粘接的定位转移; 同时, 分别利用Mimics软件和改装后数字游标卡尺对托槽特定位置至标记点间距离进行3次测量并记录。

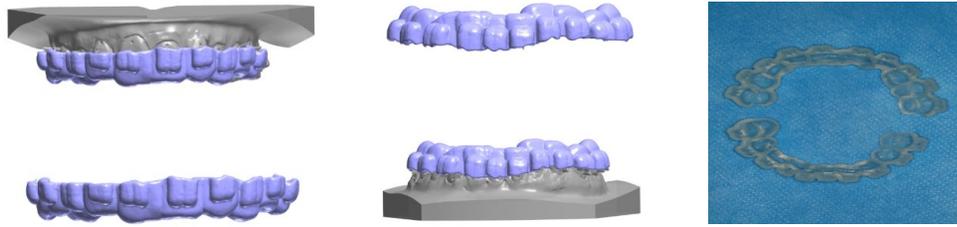


图3 数字化设计及3D打印导板  
Fig.3 Digital design and 3D printed guide plates



a: 上颌托槽导板内归位      b: 下颌托槽导板内归位      c: 上颌完成托槽粘接      d: 下颌完成托槽粘接

图4 托槽归位及完成托槽粘接  
Fig.4 Bracket reset and bracket bonding completed

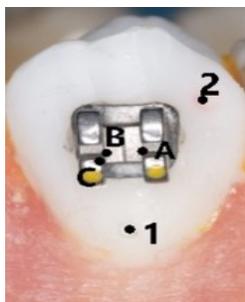


图5 标记点  
Fig.5 Markers



图6 改良测量尺  
Fig.6 Improved measuring scale

利用整段组与单牙组导板对托槽进行间接粘接,完成第一副错殆模型的间接粘接;再利用上述方式完成另外4副错殆模型托槽的间接粘接。

**1.2.3 统计学分析** 利用SPSS 20.0软件对5副模型其中100个牙位的实验数据进行统计学分析。整段组与单牙组两组均对每牙位测量点间差值绝对值和后数据进行参数检验,确认符合正态性及方差齐性后进行配对 *t* 检验,若  $P < 0.05$  认为差异有统计学意义。

## 2 实验结果

3D打印法制作的整段组和单牙组导板对托槽进行间接粘接后,两者进行统计学分析结果表明3D打印导板整段组测量点间差值的均数±标准差为(0.21±0.05) mm,3D打印导板单牙组测量点间差值的均数±标准差为(0.22±0.05) mm,两者无统计学差异( $P=0.078$ )。但在实验中,由于相较于单牙式单板需多次粘接方可完成半模型托槽的定位与粘接,整段式导板可一次粘接完成半模型定位与粘接,整段式导板在使用过程中相对更加便捷。

## 3 讨论

目前,3D打印技术在口腔正畸领域中主要应用于个性化托槽、正畸模型、间接粘接导板以及支抗钉定位导板的制作<sup>[12-14]</sup>。国内外对于3D打印制作间接粘接导板均有报道;但由于3D打印制作间接粘接导板受到打印材料的限制<sup>[15]</sup>,国内外常见报道的3D打印导板多为单颗牙齿的或者是分段式的导板<sup>[16-17]</sup>。然而,本实验所采用的模型无明显牙列拥挤、不齐,为了寻求准确便捷的3D打印法导板,本实验所用3D打印法导板为单牙组和整段组间接粘接转移导板。

关于间接粘接准确性的研究报道较多,然而评价转移导板准确性的方式不一。陈慧等<sup>[18]</sup>通过测定牙尖或切角到托槽特定点间距离以及托槽在牙面粘接前后的角度变化来判断托槽的准确性;Nichols等<sup>[19]</sup>及Grünheid等<sup>[20]</sup>通过对转移前后的托槽进行数字化重叠匹配,研究转移导板的准确性。但是对于间接粘接导板对托槽转移定位准确性的研究则少之

又少。Castilla等<sup>[21]</sup>通过相机拍照记录托槽粘接后近远中位置的变化、利用数字化卡尺测量颊舌向位置的变化,以此研究5种间接粘接转移导板间的准确性。本实验研究方法借鉴了Castilla等<sup>[21]</sup>的研究方法,利用数字化测量尺对托槽特定点与牙面不同平面的标记点间进行三维方向上的测量,并进一步分析,以研究两种间接粘接转移导板的准确性。

通过预实验得出数据发现,3D打印间接粘接转移导板整段组与单牙组分别对托槽进行转移定位后,相同牙位间差值其均数±标准差为(-0.025±0.077) mm。

根据  $N = \left[ \frac{(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta}) * \sigma}{\delta} \right]^2$ <sup>[22]</sup>,同时根据统计学家建议

参数  $\alpha=0.05$  则  $Z_{0.05/2}=1.96$ 、 $\beta=0.20$  则  $Z_{0.20}=0.842$ , 计算出所需样本量  $N=75$ , 因此若比较3D打印导板整段组和单牙组对托槽定位的准确性,欲使保持置信水平为95%,检验功效为0.8,共需要75个牙位的比较。因此,本实验收集了140个离体牙按照牙列形态进行排列5副牙颌模型,并对其中100个牙位的数据进行了分析。

利用间接粘接导板对托槽进行间接粘接的转移定位,间接粘接导板的精确度是在临床应用中必须考虑的核心问题,通常认为导板的精度是由多个环节决定的,包括数字化图像的采集,拟合配准,导板的制作、打印以及术中操作等环节<sup>[23]</sup>。而对本实验3D打印间接转移导板间比较而言,因由同一设备完成数字化图像的采集、同一软件进行拟合匹配、同一设备进行导板打印,在分析两种3D打印导板对托槽定位准确度时仅需主要考虑导板的设计及术中操作两个环节。通过实验发现,利用3D打印制作导板对托槽进行转移定位后,无论是利用整段组还是单牙组导板进行托槽转移定位,其多方向配准精度误差和约在0.21~0.23 mm内,且两种打印导板的准确性并无明显差别,两者均可满足临床对托槽的准确转移定位要求。这主要得益于高精度的3D打印技术以及规范的临床操作。轻度错殆的实验模型可使得3D打印整段组导板既可保证共同就位道又对托槽定位具有较高的准确性;同时高精度的打印技术可使得导板与设计保持一致,无论是整段式还是单牙式导板均可确保导板的精确度。通过规范的临床操作,托槽经过间接粘接后位置基本与原设计保持一致。

然而,在本实验的错殆模型上进行间接粘接临床操作过程中可发现整段组导板更加便捷。因为单牙组导板在进行间接粘接时需先将托槽放在导板内进而依次进行多次粘接,而整段组导板是将托槽放在导板内后进行整体一次粘接。从临床操作技术敏感

性来看,整段组导板对临床医师操作技术的要求更高,整段组导板就位与脱位方向必须与设计时所选就位道方向一致;如若不然,导板不能脱位,强行脱位造成托槽脱落,则托槽需重新粘接,这将降低患者就诊体验。此外,3D打印制作的导板进行间接粘接时,无论单牙组还是整段组导板,托槽背板放置粘接剂的量要适中,需要由有一定经验的医生或助手操作。若放置的粘接剂太少,托槽会因粘接力不足脱落;过多则会增加导板脱位困难、尚需依靠高速涡轮手机打磨去除托槽边缘固化的多余粘接剂余的粘接剂,增加临床粘接后的椅旁时间。

目前,计算机辅助制作的3D打印导板简化了繁琐的导板制作步骤仅仅是其优势之一,其最大且不可替代的优势在于其可结合CBCT影像学及模型数字化信息进而按照正常殆6项标准<sup>[24]</sup>排齐牙齿,在治疗计划中既考虑临床冠的整齐又考虑牙根在颌骨内的位置,避免矫正治疗后出现骨开窗等并发症的可能性,使矫治更加科学、可预测和准确<sup>[13]</sup>。

计算机辅助设计软件在制作3D打印整段组导板时,为了获得共同的就位道会自动填补凹凹以便导板就位与取出,因此整段组导板对于如轻度不齐的错殆牙列进行托槽的间接粘接定位可以确保准确性。但若患者的牙列明显不齐并伴有扭转,此时仍利用3D打印整段式导板进行间接粘接时,托槽与3D打印导板间密合性下降,此时是否仍能取得较高的准确性尚需进一步的研究验证。对于牙列明显不齐的患者,可考虑通过多个就位道式设计制作几个分段式的间接粘接导板;若患者牙列严重不齐伴有牙齿扭转的情况时,可以考虑单牙位导板。随着对新材料的探索,或许会研发出可口内黏膜放置的、具有一定弹性的、具有较高生物安全性的打印材料,3D打印导板会越来越广泛地应用于正畸间接粘接领域。

## 4 结论

在本实验条件下制作的3D打印导板无论是整段组还是单牙组导板对托槽进行间接粘接定位的准确性并没有明显差别,均可满足对托槽转移准确性的要求,但相对此实验研究模型,整段组导板在临床粘接过程中更加便捷。

## 【参考文献】

- [1] SILVERMAN E, COHEN M, GIANELLY A A, et al. A universal direct bonding system for both metal and plastic brackets[J]. Am J Orthod, 1972, 62(3): 236-244.
- [2] 陈越, 艾虹. 正畸托槽间接粘接技术的相关研究现状[J]. 新医学, 2009, 40(3): 209-211.  
CHEN Y, AI H. Research status of indirect bonding of orthodontic brackets[J]. New Medical Science, 2009, 40(3): 209-211.

- [3] 杨慧芳, 赵建江, 王勇. 3D打印技术在口腔医学领域中的应用[J]. 中国医疗设备, 2015, 30(5): 63-65.  
YANG H F, ZHAO J J, WANG Y. Application of 3D printing technology in stomatology[J]. China Medical Equipment, 2015, 30(5): 63-65.
- [4] FAYYAZ A, APROS K, VIJAYA K. 3D-printed orthodontic auxiliaries [J]. J Clin Orthod, 2015, 49(5): 337-341.
- [5] MIYAZAKI T, HOTTA Y, KUNII J, et al. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience[J]. Dent Mater J, 2009, 28(1): 44-56.
- [6] BIRNBAUM N S, AARONSON H B. Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality[J]. Compend Contin Educ Dent, 2008, 29(8): 498-505.
- [7] 李云霞, 白玉兴, 魏存峰. 微型CT建立数字化三维牙颌模型初探[J]. 中华口腔医学杂志, 2011, 46(1): 47-49.  
LI Y X, BAI Y X, WEI C F. Three-dimensional digital dental model based on micro-CT[J]. Chinese Journal of Stomatology, 2011, 46(1): 47-49.
- [8] 高鹏程, 谢理哲, 严斌. 牙颌模型三维数字化技术及其在口腔正畸学中的应用进展[J]. 口腔生物医学, 2014, 5(3): 152-157.  
GAO P C, XIE L Z, YAN B. Three-dimensional digital technology of dental jaw model and its application in orthodontics [J]. Oral Biomedicine, 2014, 5(3): 152-157.
- [9] RADEKE J, WENSE C V, LAPATKI B G. Comparison of orthodontic measurements on dental plaster casts and 3D scans[J]. J Orofac Orthop, 2014, 75(4): 264-274.
- [10] 何琴, 王春玲, 张佐. 数字化医学在口腔正畸临床工作中的应用[J]. 宁夏医学杂志, 2015, 37(12): 1230-1232.  
HE Q, WANG C L, ZHANG Z. Application of digital medicine in orthodontics[J]. Ningxia Medical Journal, 2015, 37(12): 1230-1232.
- [11] MAYHEW M J. Computer-aided bracket placement for indirect bonding[J]. J Clin Orthod, 2005, 39(11): 653-660.
- [12] 胡堃, 危岩, 李路海, 等. 3D打印技术在生物医用材料领域的应用[J]. 新材料产业, 2014, 8: 33-39.  
HU K, WEI Y, LI L H, et al. Application of 3D printing technology in the field of biomedical materials [J]. Advance Materials Industry, 2014, 8: 33-39.
- [13] 张涛, 杨四维, 徐晓梅. 快速成型技术在口腔正畸中的应用进展[J]. 现代诊断与治疗, 2015, 26(1): 60-62.  
ZHANG T, YANG S W, XU X M. The advance of rapid prototyping technology in orthodontics [J]. Modern Diagnosis and Treatment, 2015, 26(1): 60-62.
- [14] 李晶, 王硕, 张达, 等. 口内扫描数字化模型与硅橡胶制取石膏模型测量的对比研究[J]. 中华口腔正畸学杂志, 2013, 20(3): 163-166.  
LI J, WANG S, ZHANG D, et al. Comparison of measurements between intraoral scanned digital modeled plaster model [J]. Chinese Journal of Orthodontics, 2013, 20(3): 163-166.
- [15] WHETTEN J L, WILLIAMSON P C, HEO G, et al. Variations in orthodontic treatment planning decisions of class II patients between virtual 3-dimensional models and traditional plaster study models [J]. Am J Orthod Dentofac Orthop, 2006, 130(4): 485-491.
- [16] GROTH C, KRAVITZ N D, JONES P E, et al. Three-dimensional printing technology [J]. J Clin Orthod, 2014, 48(8): 475-485.
- [17] CIUFFOLO F, EPIFANIA E, DURANTI G, et al. Rapid prototyping: a new method of preparing trays for indirect bonding [J]. Am J Orthod Dentofac Orthop, 2006, 129(1): 75-77.
- [18] 陈慧, 郭宏铭, 白玉兴, 等. CAD/CAM转移托盘粘接托槽位置准确性研究[J]. 北京口腔医学, 2012, 20(5): 270-273.  
CHEN H, GUO H M, BAI Y X, et al. A comparison of virtual and actual bracket position orientated by CAD/CAM indirect bonding method [J]. Beijing Journal of Stomatology, 2012, 20(5): 270-273.
- [19] NICHOLS DA, GARDNER G, CARBALLEYRAAD. Reproducibility of bracket positioning in the indirect bonding technique [J]. Am J Orthod Dentofac Orthop, 2013, 144(5): 770.
- [20] GRÜNHEID T, LEE M S, LARSON B E. Transfer accuracy of vinyl polysiloxane trays for indirect bonding [J]. Angle Orthod, 2016, 86(3): 468-474.
- [21] CASTILLA A E, CROWE J J, MOSES J R, et al. Measurement and comparison of bracket transfer accuracy of five indirect bonding techniques [J]. Angle Orthod, 2014, 84(4): 607-614.
- [22] 李晓松. 医学统计学(第3版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2014: 254-257.  
LI X S. Medical statistics (3rd edition) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2014: 256-257.
- [23] 郭宏铭, 陈慧, 周晶. 数字化整合模型和激光快速成型技术在舌侧间接粘接系统中的初步应用[J]. 北京口腔医学, 2011, 19(2): 95-97.  
GUO H M, CHEN H, ZHOU J. Application of laser rapid prototyping technology and digital integrated modeling in lingual indirect bonding system [J]. Beijing Journal of Stomatology, 2011, 19(2): 95-97.
- [24] ANDREWS L F. The six keys to normal occlusion [J]. Am J Orthod, 1972, 62(3): 296-309.

(编辑:谭斯允)