

激光熔融数字化导板技术辅助钙化根管的治疗

张婷^{1,2} 陈度³ 苗雷英^{1,2} 谢思静^{1,2} 汤旭娜^{1,2,4}

1.南京大学医学院附属口腔医院,南京市口腔医院牙体牙髓病科,南京 210000;

2.南京大学医学院附属口腔医院,南京市口腔医院中心实验室,南京 210000;

3.南京大学医学院附属口腔医院,南京市口腔医院修复科,南京 210000;

4.计算机软件新技术国家重点实验室(南京大学),南京 210000

[摘要] 目的 利用激光熔融数字化导板技术获得钙化根管治疗的新方法,并评估其准确性。方法 采用激光熔融数字化导板技术辅助2例前牙钙化根管的治疗。术前使用锥形束CT(CBCT)扫描患者上颌牙,建立三维牙体硬组织根管系统模型;制取患者上颌印模,三维扫描仪扫描模型,整合CBCT及三维扫描数据,通过Mimics 19.0及3-matic 11.0软件设计开髓路径,使用钴铬合金激光熔融法打印导板,在根管导板引导下开髓及打通钙化段根管,完成根管治疗。测量术前开髓设计路径和术后实际路径的位置和角度偏差。结果 2例患牙均获得较好的治疗效果。病例1的开髓角度偏差为1.77°,钻基底偏差为0.403~0.497 mm,钻尖端偏差为0.433~0.537 mm。病例2的角度偏差为3.26°,钻基底偏差为0.183~0.347 mm,钻尖端偏差为0.310~0.463 mm。结论 钴铬合金激光熔融根管导板辅助建立根管通道是治疗钙化根管的有效方法,可作为钙化根管治疗的新策略。

[关键词] 引导根管治疗; 激光熔融导板; 钙化根管; 锥形束CT

[中图分类号] R 781.05 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2020.05.009



开放科学(资源服务)
标识码(OSID)

Guided endodontic access of calcified root canal by laser melting templates Zhang Ting^{1,2}, Chen Du³, Miao Leiying^{1,2}, Xie Sijing^{1,2}, Tang Xuna^{1,2,4}. (1. Dept. of Cariology and Endodontics, Nanjing Stomatological Hospital, Medical School of Nanjing University, Nanjing 210000, China; 2. Central Laboratory of Stomatology, Nanjing Stomatological Hospital, Medical School of Nanjing University, Nanjing 210000, China; 3. Dept. of Prosthodontics, Nanjing Stomatological Hospital, Medical School of Nanjing University, Nanjing 210000, China; 4. State Key Lab. for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210000, China)

Supported by: Nanjing Medical Science and Technique Development Foundation (YKK16157); Nanjing Foundation for Development of Science and Technology (201715040); Project of State Key Lab. for Novel Software Technology (Nanjing University) (KFKT2018B16); Project of Invigorating Health Care through Science, Technology and Education Jiangsu Provincial Medical Youth Talent (QNRC2016120); Jiangsu Provincial Medical Youth Talent (2017). Correspondence: Tang Xuna, E-mail: xunatang@126.com.

[Abstract] **Objective** The aim of this study is to treat calcified root canal and assess the accuracy of guided endodontics using laser melting templates. **Methods** Two cases with calcified anterior teeth were treated with laser melting templates. Cone beam computed tomography (CBCT) was used to scan the maxillary teeth of patients before surgery to establish the root canal system model. The maxillary impression of the patient was made and it was scanned by a 3D scanner. The CBCT scans were matched with surface scans of plaster model. Mimics 19.0 and 3-matic 11.0 software were used to design the virtual

planning to access cavities. The templates were produced by laser melting 3D printing. Access cavity was prepared under the guidance of laser melting template. Then the deviations of planned and prepared cavities in three dimensions and angle were measured. **Results** The two teeth obtained satisfactory results. The first case had a angle deviation of 1.77°, a drilling base deviation of 0.403-0.497 mm, and a tip of

[收稿日期] 2020-01-17; **[修回日期]** 2020-03-15

[基金项目] 南京市医学科技发展资金项目(YKK16157);南京市科技计划项目(201715040);南京大学计算机软件新技术国家重点实验室资助项目(KFKT2018B16);科教强卫工程江苏省青年医学人才(QNRC2016120);江苏省青年医学人才资助项目(2017)

[作者简介] 张婷, 硕士, E-mail: zhangting7700@163.com

[通信作者] 汤旭娜, 副主任医师, 博士, E-mail: xunatang@126.com

0.433-0.537 mm. The second case had a angle deviation of 3.26°, a drill base deviation of 0.18-0.347 mm, and a tip of 0.310-0.463 mm. **Conclusion** Laser melting template-guided endodontics is an effective technique for the treatment of calcified root canal and can be used as a new strategy for the treatment of calcified canal.

[Key words] guided endodontics; laser melting templates; calcified root canal; cone beam computed tomography

根管治疗的目的是通过对根管系统适当的成形和消毒使根管内微生物感染得到控制,并封闭根管系统以促进根尖周病变愈合和组织再生。然而,髓腔和根管系统钙化阻塞根管原始通路,使根管治疗复杂化,降低了根管治疗成功率,影响预后。牙髓的钙化变性通常与牙髓损伤有关,包括龋齿、牙齿表面缺损和外伤对牙髓产生影响^[1],盖髓术、牙髓切断术等治疗导致牙髓变性,正畸治疗引起牙髓损伤^[2],部分老年人由于增龄性因素也会出现牙髓钙化^[3-4]。牙髓钙化牙齿中超过三分之一的患牙会伴发根尖周病变^[5],需要临床治疗,对于这些钙化根管的治疗极具挑战性,随之而来的治疗风险增大、失败率也明显升高。

对于伴发根尖周炎症的牙髓钙化患牙,其治疗难度取决于天然牙的形态、根管钙化的程度及性质、牙本质硬化程度。通常情况下,要疏通这些钙化的根管系统,需要在熟悉解剖学知识、精确的三维图像和稳定操作的辅助下,沿着预期根管开口方向进行通路探查及预备,处理这种挑战性病例同时也需要医生具有丰富的临床经验,因此目前的临床现状是,对于此类病例常会转诊给更高级别专科医师进行处理。同时,目前临床另一误区就是盲目使用显微镜,如果经验不足而只是一味依赖显微镜蛮力疏通根管,常会使根管进一步偏离原始方向^[6],引起根管穿孔导致治疗失败。锥形束CT (cone beam computed tomography, CBCT) 技术的发展,为临床医生提供了更多的三维可视化信息和图像数据以了解根管解剖^[7]。但仅凭CBCT所提供的数据仍显不足,临床医生依然需要解析图像并在大脑中构建一个三维结构图,在根管治疗中沿着大脑构建的结构图进行操作,其准确性、稳定性和可靠性难以保证。近年来,“计算机辅助引导下根管治疗”的方法逐步开始用于部分根管钙化病例的治疗^[8-9]。治疗过程需使用特殊软件整合CBCT和数字化三维扫描数据构建虚拟开髓路径,随后制作数字化模板来引导钻针进入钙化的根管系统^[10],从而达到精确治疗,减少牙体破坏,提高成功率。迄今为止,已有多个数字化开髓导板引导下的钙化根管治疗案例的报道^[11-12],但这些病例大多使用聚乳酸等材料打印导板,导板较厚,就位欠稳定,精确度欠佳,并且部分需要附加预成套管,套管与导板之间存在易错位等风险。

本研究针对以往导板存在的缺陷,使用钴铬合金制作激光熔融数字化金属导板,精确定位根管开口,辅助临床医生精准根管治疗,为钙化根管治疗提供更加可靠的治疗方法。

1 激光熔融数字化导板技术辅助钙化根管治疗的临床应用

采用激光熔融数字化导板技术辅助2例前牙钙化根管患者的治疗。

1.1 病例1及其治疗过程

患者,男,25岁,左上前牙外伤折断10年余,要求修复患牙。自诉10年前左上前牙外伤折断,无明显咬合痛、自发痛。患者否认药物过敏史,否认高血压、糖尿病、心脏病等系统性疾病史。检查:21牙冠折,牙冠变色,无叩痛,无松动,牙龈未见明显异常;邻牙及对颌牙无异常。根尖片示:21牙未行根管治疗,根管中段影像消失,根尖周未见明显异常(图1A)。CBCT示:21牙冠缺损,牙根冠方1/3根管影像稍向近中偏移,根管中段钙化,根管影像欠清,根尖骨质稍显稀疏;21牙根管系统钙化位于根管中段,钙化冠端至牙体冠方最高点7.98 mm,钙化区段长6.60 mm(图1B)。临床诊断为:21牙体缺损,牙髓坏死(根管钙化)。

治疗计划:拟数字化导板指引下21牙开髓、根管预备,充填后行冠部修复。因钙化位置较深,设计2副开髓导板序列使用,引导开髓。本研究经南京大学医学院附属口腔医院伦理学委员会批准,患者知情同意。

治疗步骤如下。

1) 建立三维牙体硬组织根管系统模型。使用CBCT机(NewTom VG scanner, Verona公司,意大利)对上颌牙进行扫描,拍摄时要求患者微张口,确保上下颌牙齿颌面分开。CBCT参数:电压110 kV,扫描模式High-resolution Zoom,体素0.125 mm,图像层厚0.25 mm。利用3D软件NNT 5.3(QR srl, Verona公司,意大利)将数据以DICOM(digital imaging and communications in medicine)格式保存。之后,将DICOM格式数据导入Mimics 19.0(Materialise公司,比利时)进行处理。建立包含釉质、牙本质和部分牙槽骨的三维牙体硬组织和根管形态模型。

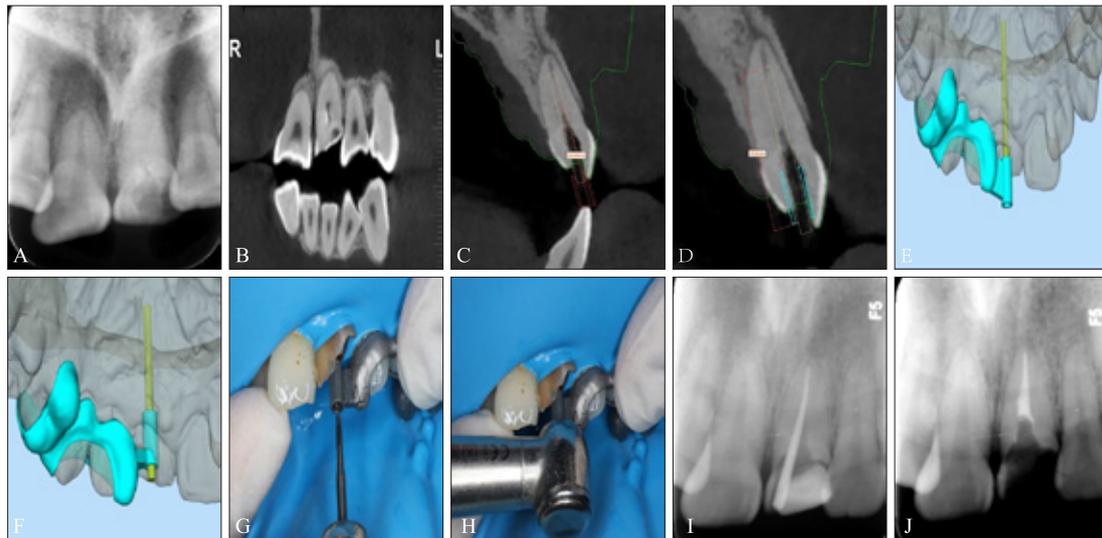


图 1 病例1数字化导板的设计及临床应用
A: 术前根尖片; B: 术前CBCT; C、D: 第一、二副导板设计图; E、F: 第一、二副导板三维重建图; G、H: 数字化导板引导下开髓;
I: 试尖片; J: 术后根尖片。

Fig 1 Design and clinical application of laser melting templates in the first case

2) 三维数字化模型的设计、打印。制取患者上颌印模, 使用三维扫描仪 (Trios 3, 3shape公司, 丹麦) 扫描模型并数字化, 以STL (standard triangulation language) 格式保存。将编辑后的上颌数字化模型导入Mimics 19.0, 与CBCT数据配准整合, 获得包含准确根管信息的三维图像, 并用多点注册和重新定位功能, 与口腔内扫描图像进行拟合, 提取根管口至根尖1/3 (距根尖3.30 mm) 根管未钙化处的三维图像。在3-matic 11.0 (Materialise公司, 比利时) 中, 通过标记和设计功能生成基底直径为1.70 mm的圆柱体, 使圆柱体底面与根尖1/3平面一致, 模拟开髓路径。第一副导板设计为从切端至根中1/2圆柱 (引导工作长度为7.74 mm)。然后在3shape Dental System 2019 (3shape公司, 丹麦) 软件中, 使用RPD (removable partial denture) 模块确定就位道, 连接外形高点, 形成导板固定装置轮廓, 平均厚度为1 mm。在magics 21.0 (Materialise公司, 比利时) 中, 将内径直径1.7 mm、外径直径2.6 mm、高度5 mm的套筒置于缺损牙体上方0.2 mm处, 通过支撑柱与模板连接。第二副导板位于模拟开髓路径中, 为起于距根尖3.30 mm根尖未钙化处的引导工作长度为6.90 mm的圆柱, 并将套筒置于髓室内, 将带预留孔的STL数据输出。使用选择性激光熔融钴铬合金3D打印机 (Space Traveler Tr150, 南京前知智能科技有限公司), 对带预留孔的STL数据进行三维数字化模型打印制作并进行抛光处理。制作完成后, 在根管导板引导下开髓, 评价开髓精确度 (图1C~H)。开髓使用长柄裂钻 (H254LE.314.012, Komet

公司, 德国), 总长度31 mm, 工作长度6 mm, 直径1.60 mm。

3) 数字化导板辅助下根管治疗。将导板固定于患牙, 检查导板是否完全就位。在患牙表面准确标记开髓孔的位置和大小。橡皮障隔离患牙, 使用长柄裂钻在导板引导下行21牙开髓及打通钙化段根管, 10号不锈钢K锉 (Mani公司, 日本) 疏通根管, 根管测量仪 (Raypex 6, VDW公司, 德国) 测定根管工作长度为18 mm, NiTi旋转器械 (Mtwo, VDW公司, 德国) 根管预备至25号, 5.25%NaClO超声荡洗, 插入主牙胶尖拍示尖片确认根尖开口位置 (图1I), 干燥根管, 牙胶尖蘸AH plus (Dentsply公司, 德国), 热牙胶垂直加压严密充填。X线片示: 牙胶恰填, 充填密实 (图1J)。流动树脂垫底 (Z350XT, 3M公司, 美国), Z350纳米树脂 (Filtek Z350, 3M ESPE公司, 美国) 充填, 光照, 调磨, 抛光。

1.2 病例2及其治疗过程

患者, 女, 35岁, 左上前牙肿胀疼痛半年余就诊。自述10余年前曾行正畸治疗, 否认外伤史。患者否认药物过敏史, 否认高血压、糖尿病、心脏病等系统性疾病史。检查: 11、21牙唇面可见牙色贴面; 11牙近中切角缺损, 无叩痛, 不松动; 21牙无叩痛, 不松动, 唇侧可见窦道口 (图2A)。温度测验11、21牙均无反应。根尖片示: 11牙根管内可见充填物, 根尖周未见异常; 21牙根管冠方三分之一无根管影像, 根尖周大面积阴影。CBCT示: 11牙根管充填; 21牙根尖周炎, 根冠端1/2根管钙化, 根尖端凹陷性吸收, 根尖周骨质局限性吸收 (约6.05 mm×

6.35 mm低密度影像)；21钙化位于髓室至根管中1/2，钙化长度约7.07 mm (图2B)。临床诊断为：21牙慢性根尖周炎(根管钙化)，11牙牙体缺损。

治疗计划：21牙试行根管定位数字化导板辅助下根管治疗；术后观察1~3个月，根尖周病变若无好转迹象则行显微根尖手术，根尖周组织状态稳定则11、21牙行全冠修复术。本研究经南京大学医学院附属口腔医院伦理学委员会批准，患者知情同意。

治疗：1) 使用前述方法制作激光熔融钴铬合金数字化根管导板(图2C、D)。提取根管口至根中1/2(距根尖5.60 mm)根管未钙化处的三维图像设计模拟开髓路径。开髓导板设计为距根尖5.60 mm、工作长度为7.07 mm的圆柱体，导管平行于牙长轴，圆柱体底面与根部1/2平面一致，套筒置于牙面上方0.2 mm处，通过支撑柱与模板连接。2) 根管导板引导下开髓(图2E、F)。将根管导板固定在患牙并检

查导板是否完全就位。在患牙表面准确标记开髓孔的位置和大小，橡皮障隔离患牙，导板就位后21牙开髓，通过根管冠部钙化区，到达根管中段，NiTi旋转器械根管预备至25号，5.25%NaClO超声荡洗，氢氧化钙根管内封药1周。1周后21牙复查，见暂封完整。橡皮障隔离患牙，21牙去暂封，5.25%NaClO超声冲洗，复核工作长度，插入主牙胶尖拍片示恰，干燥根管，牙胶尖+AH plus热牙胶垂直加压严密充填。X线片示：牙胶恰填，充填密实。流动树脂(Z350XT, 3M公司, 美国)垫底，Z350纳米树脂(Filtek Z350, 3M ESPE公司, 美国)充填，光照，调磨，抛光。3个月后复诊，21牙唇侧根方窝道未愈合，根尖片示21牙根尖周阴影未见变化(图2G)。按原计划行显微根尖手术，根尖手术3个月后复查，根尖片21牙根尖暗影明显缩小(图2H)，随后行11、21牙冠修复。

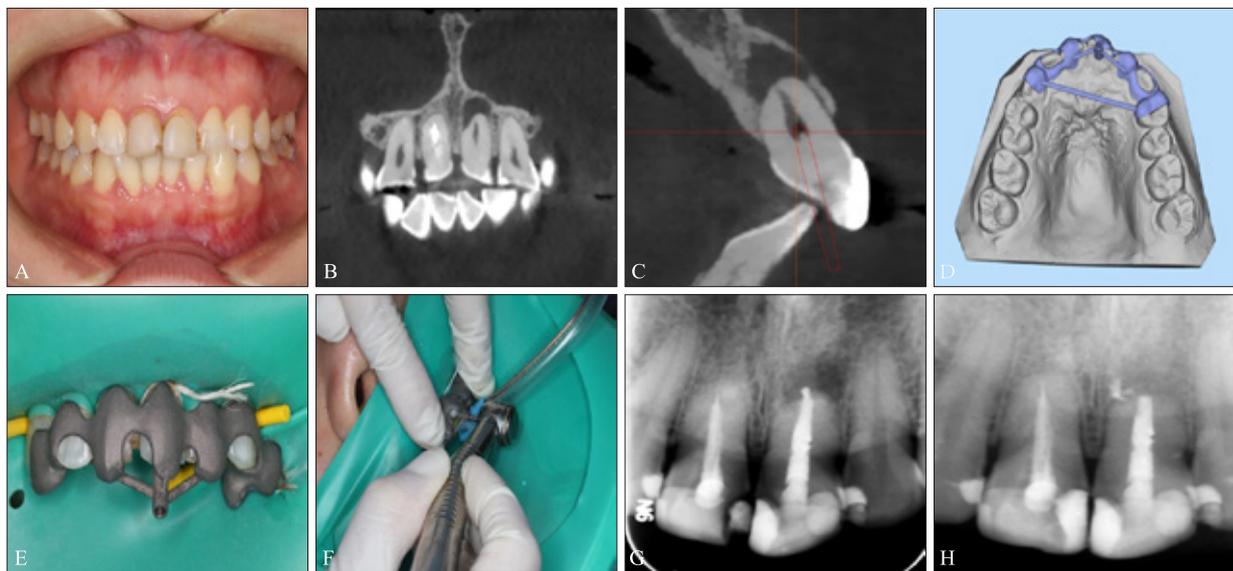


图 2 病例2数字化导板的设计及临床应用
A: 术前口内照; B: 术前CBCT; C: 开髓导板设计图; D: 开髓导板三维重建; E: 导板试戴; F: 数字化导板引导下开髓; G: 根管充填术后3个月根尖片; H: 根尖手术术后3个月根尖片。

图 2 病例2数字化导板的设计及临床应用

Fig 2 Design and clinical application of laser melting templates in the second case

1.3 病例治疗前后数据测量及分析

2例患者开髓制备根管通道后拍摄CBCT，将数据导入Mimics 19.0，用3-matic 11.0通过之前叙述的方法拟合实际开髓路径。通过匹配术前虚拟开髓路径，叠加术前、术后开髓路径，测量钻基底(圆柱底端)和钻尖端(圆柱尖端近根尖侧)在近远中、颊舌向、冠根向的偏差以及开髓角度偏差。采用描述性方法计算标准差、最小值、最大值和平均值。

2 结果

2颗患牙均获得了较好的治疗效果。

病例1的开髓前设计路径及实际开髓路径比较结果表明，开髓角度偏差为 $1.770^{\circ} \pm 0.215^{\circ}$ ；钻基底的近远中向、颊舌向和冠根向的偏差分别为 (0.403 ± 0.012) 、 (0.463 ± 0.015) 和 (0.497 ± 0.006) mm，钻尖端的近远中向、颊舌向和冠根向的偏差分别为 (0.433 ± 0.015) 、 (0.493 ± 0.012) 、 (0.537 ± 0.015) mm(表1)。

病例2的开髓前设计路径及实际开髓路径比较结果表明，开髓角度偏差为 $3.26^{\circ} \pm 0.056^{\circ}$ ；钻基底的近远中向、颊舌向和冠根向的偏差分别为 (0.247 ± 0.015) 、 (0.347 ± 0.015) 、 (0.183 ± 0.006) mm，钻尖端的近远中向、颊舌向和冠根向的偏差分别为

(0.347±0.015)、(0.463±0.015)、(0.310±0.010) mm (表2)。

表 1 病例1设计路径和实际开髓路径的偏差

Tab 1 Deviations of planned and repaired access cavity at base and tip of the bur in the first case

项目	角度偏差/°	钻基底偏差/mm			钻尖端偏差/mm		
		近远中向	颊舌向	冠根向	近远中向	颊舌向	冠根向
平均值	1.770	0.403	0.463	0.497	0.433	0.493	0.537
最小值	1.550	0.390	0.450	0.490	0.420	0.480	0.520
最大值	1.980	0.410	0.480	0.500	0.420	0.500	0.550
标准差	0.215	0.012	0.015	0.006	0.015	0.012	0.015

表 2 病例2设计路径和实际开髓路径的偏差

Tab 2 Deviations of planned and repaired access cavity at base and tip of the bur in the second case

项目	角度偏差/°	钻基底偏差/mm			钻尖端偏差/mm		
		近远中向	颊舌向	冠根向	近远中向	颊舌向	冠根向
平均值	3.260	0.247	0.347	0.183	0.347	0.463	0.310
最小值	3.210	0.230	0.330	0.180	0.330	0.450	0.300
最大值	3.320	0.260	0.360	0.190	0.360	0.480	0.320
标准差	0.056	0.015	0.015	0.006	0.015	0.015	0.010

3 讨论

利用CBCT三维成像系统和数字化设计软件针对患牙开髓的虚拟路径进行设计,可最大程度保存牙体组织,并避免偏离方向导致的牙齿穿孔意外,符合近年来推崇的微创牙髓治疗(minimally invasive endodontics, MIE)理念^[13-15]。同时CBCT数据及3D打印快速成型技术相结合,可以使根管治疗开髓通道更加可控,降低钙化根管治疗难度,缩短患者临床治疗时间。数字化开髓路径的设计,可以术前将根管位置可视化并绘制导航图,通过精确的导板设计引导精准通道制备。目前数字化导板技术已应用于牙体牙髓专业领域的多个方面,包括:钙化根管治疗、牙内陷治疗、根尖外科手术、自体牙再植术等^[16]。Zehnder等^[9]和Van der Meer等^[6]通过结合CBCT和口内光学扫描的图像,设计根管定位导板,通过3D打印机打印导板,成功进行了导板辅助的开髓。Zubizarreta-Macho等^[17]对1例Ⅱ类牙内陷的上颌侧切牙进行导板辅助的微创开髓,获得了良好的临床效果。国内也有学者^[18]将数字化打印导板用于疏通钙化根管(后牙)的相关个案报道。

本实验将金属3D打印导板用于2例前牙钙化根管的治疗,开髓前后钻针平均偏差为0.183~0.537 mm,开髓前后平均角度偏差分别为1.770°和3.260°。学者^[9]对上前牙进行数字化导板辅助下根管治疗研究,其开髓前后角度偏差范围为0~5.60°,偏移距离范围为0~

1.59 mm。另一下颌前牙开髓导板的研究^[9]显示,开髓前后角度偏差为0~5.30°,偏差范围为0~1.26 mm。而这些学者所做的数字化导板根管治疗的测量研究集中于体外实验,未对口内钙化根管治疗后车针的偏移进行研究。本研所得出的偏移距离均在可接受范围内,说明数字化导板在钙化根管的治疗中具有较好的应用效果。对于第1个病例,由于其钙化的部位位于根管中下段,车针工作长度不够,一副导板不能很好地去钙化物,容易产生偏差,故制作两副导板,使第2副导板深入髓腔进行引导,使引导更为精确。病例2由于已形成根尖囊肿,单靠根管治疗不能去除根尖病变,故在3个月后病变未明显好转情况下行根尖手术,根尖手术后取得良好的治疗效果。

目前开髓导板材料主要为高分子树脂材料,虽然很少有不良影响记录在案,但以往导板中的金属圆柱套管可能与树脂导板分离松动,或导板发生断裂。这会使开髓路径偏移,并可能导致并发症发生。El Kholy等^[19]研究显示,采用较短的套筒高度可以显著提高数字化导板的准确性。既往报道的树脂导板其套筒高度多为6 mm^[8]或8 mm^[12],本研究采用的SLM钴铬合金打印技术可使导板一体化成形,减少了套管分离松动的风险,将套管高度减少为5 mm,进一步提高了精确度。树脂导板强度不足,脆性较大^[20],导板相对较厚,而SLM导板由于更好的机械性能可以降低导板厚度至1 mm^[21],减少患者的不适感,为术者提供更好的视野。此外,相对于光敏树

脂(49.6~52.2 MPa), 3D打印Co-Cr合金较高的拉伸强度(911~951 MPa)可能在牙齿固位方面发挥积极作用, 因为高拉伸强度会降低其在开髓时的变形, 从而为车针提供更稳定的导向方向^[22]。SLA技术一直因其有较好的打印精度而用于打印高精度模型, 精度一般为25~150 μm , 部分研究其精度可以达到10 μm ^[20], 本实验所用设备打印精度为30~50 μm , 完全可以达到临床所用导板的精度要求。从制作成本来说, SLA树脂导板和SLM导板设计费用相同, 导板价格和制作时长相近。故选择性激光熔融钴铬合金导板可以更好地用于钙化根管的开髓引导, 从而提高根管治疗成功率。

数字化导板的精度取决于多种因素, 如导板支撑的类型、规划软件、用于制造导板的技术、钻头和圆柱导轨之间的差异、车针受到的磨损程度或使用的导轨数量等。首先, 牙和骨的硬组织支持型的精确度优于黏膜的软组织支持型。Schneider等^[23]在基于计算机引导模板的种植体牙科上的Meta回归分析显示, 种植体在入口点的平均偏差为1.07 mm, 在顶点的平均偏差为1.63 mm。然而, Meta分析中包括的一些研究涉及无牙颌患者, 其中手术指南的稳定性可能不太理想。本实验采用牙支持型, 准确度更为可靠。另一方面, 由于数据采集、规划软件以及打印过程中误差的累积可能导致数字化导板的不准确。有研究^[24]报道3D打印过程中所产生的偏差值小于0.25 mm, 而CBCT扫描层厚也决定了CBCT的精度, 进而影响导板方案的设计。在离体牙模拟根管钙化模型中, 研究^[25]发现实际预备通路和数字化导板设计通路的偏差均小于0.7 mm。为了增强导板精确度, 除提高使用仪器及软件的精确度和减少操作过程中的人为误差之外, 还可以在预备过程中及时使用K锉进行微创探查根管以减小开髓误差。综上, 此方法可以通过CBCT数据使用选择性激光熔融钴铬合金技术制作三维数字设计的定向导板, 提高钙化牙齿治疗的可预测性和成功率, 并且可以由经验较少或技能不足的临床医生来进行钙化根管治疗, 具有广阔的应用前景, 从而提高钙化根管治疗的成功率。

利益冲突声明: 作者声明本文无利益冲突。

【参考文献】

[1] Mello-Moura AC, Santos AM, Bonini GA, et al. Pulp calcification in traumatized primary teeth—classification, clinical and radiographic aspects[J]. J Clin Pediatr Dent, 2017, 41(6): 467-471.

[2] Delivanis HP, Sauer GJ. Incidence of canal calcification in the orthodontic patient[J]. Am J Orthod, 1982, 82(1): 58-61.

[3] Karteva E, Manchorova N, Petrova N, et al. Effect of ageing and endodontic treatment on the thermal stability of human dentin[J]. Biomed Mater Eng, 2019, 30(2): 145-156.

[4] Langeland K, Dowden WE, Tronstad L, et al. Human pulp changes of iatrogenic origin[J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1971, 32(6): 943-980.

[5] Oginni AO, Adekoya-Sofowora CA, Kolawole KA. Evaluation of radiographs, clinical signs and symptoms associated with pulp canal obliteration: an aid to treatment decision[J]. Dent Traumatol, 2009, 25(6): 620-625.

[6] van der Meer WJ, Vissink A, Ng YL, et al. 3D Computer aided treatment planning in endodontics[J]. J Dent, 2016, 45: 67-72.

[7] Matherne RP, Angelopoulos C, Kulild JC, et al. Use of cone-beam computed tomography to identify root canal systems *in vitro*[J]. J Endod, 2008, 34(1): 87-89.

[8] Krastl G, Zehnder MS, Connert T, et al. Guided endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology[J]. Dent Traumatol, 2016, 32(3): 240-246.

[9] Zehnder MS, Connert T, Weiger R, et al. Guided endodontics: accuracy of a novel method for guided access cavity preparation and root canal location[J]. Int Endod J, 2016, 49(10): 966-972.

[10] Connert T, Zehnder MS, Amato M, et al. Microguided endodontics: a method to achieve minimally invasive access cavity preparation and root canal location in mandibular incisors using a novel computer-guided technique[J]. Int Endod J, 2018, 51(2): 247-255.

[11] Fonseca Tavares WL, Diniz Viana AC, de Carvalho Machado V, et al. Guided endodontic access of calcified anterior teeth[J]. J Endod, 2018, 44(7): 1195-1199.

[12] 林捷, 林珍香, 郑志强, 等. 根管导板技术辅助冠修复后磨牙的根管治疗[J]. 实用口腔医学杂志, 2018, 34(5): 648-651.

Lin J, Lin ZX, Zheng ZQ, et al. Endodontic treatment of the molars following crown restoration by using endodontic guide technique[J]. J Pract Stomatol, 2018, 34(5): 648-651.

[13] Bürklein S, Schäfer E. Minimally invasive endodontics[J]. Quintessence Int, 2015, 46(2): 119-124.

[14] Opal S, Garg S, Dhindsa A, et al. Minimally invasive clinical approach in indirect pulp therapy and healing of deep carious lesions[J]. J Clin Pediatr Dent, 2014, 38(3): 185-

- 192.
- [15] Ruddle CJ. Endodontic triad for success: the role of minimally invasive technology[J]. Dent Today, 2015, 34(5): 76, 78-80.
- [16] 承清, 夏文薇. 三维打印导板在牙体牙髓专业领域中的研究和应用[J]. 中华口腔医学杂志, 2019, 54(1): 67-70.
Cheng Q, Xia WW. Research and application of three-dimensional printed template in endodontics[J]. Chin J Stomatol, 2019, 54(1): 67-70.
- [17] Zubizarreta-Macho Á, Ferreiroa A, Agustín-Panadero R, et al. Endodontic re-treatment and restorative treatment of a dens invaginatus type II through new technologies[J]. J Clin Exp Dent, 2019, 11(6): e570-e576.
- [18] 封琼, 王一舟, 黄雨婷, 等. 精准微创根管治疗: 3D导板指引下的钙化根管疏通术[J]. 口腔医学研究, 2017, 33(4): 427-431.
Feng Q, Wang YZ, Huang YT, et al. Negotiation of calcified root canal under guidance of 3D guides: precise minimally invasive root canal treatment[J]. J Oral Sci Res, 2017, 33(4): 427-431.
- [19] El Kholly K, Janner SF, Schimmel M, et al. The influence of guided sleeve height, drilling distance, and drilling key length on the accuracy of static computer-assisted implant surgery [J]. Clin Implant Dent Relat Res, 2019, 21(1): 101-107.
- [20] Han T, Kundu S, Nag A, et al. 3D printed sensors for biomedical applications: a review[J]. Sensors (Basel), 2019, 19(7): E1706.
- [21] Lu YJ, Wu SQ, Gan YL, et al. Microstructure, mechanical property and metal release of As-SLM CoCrW alloy under different solution treatment conditions[J]. J Mech Behav Biomed Mater, 2015, 55: 179-190.
- [22] Koutsoukis T, Zinelis S, Eliades G, et al. Selective laser melting technique of Co-Cr dental alloys: a review of structure and properties and comparative analysis with other available techniques[J]. J Prosthodont, 2015, 24(4): 303-312.
- [23] Schneider D, Marquardt P, Zwahlen M, et al. A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template-based implant dentistry[J]. Clin Oral Implants Res, 2009, 20(Suppl 4): 73-86.
- [24] 李晋蒙, 欧国敏. 计算机辅助设计种植导板精确性及其影响因素[J]. 华西口腔医学杂志, 2017, 35(1): 93-98.
Li JM, Ou GM. Accuracy of computer-guided implant placement and influencing factors[J]. West China J Stomatol, 2017, 35(1): 93-98.
- [25] Buchgreitz J, Buchgreitz M, Mortensen D, et al. Guided access cavity preparation using cone-beam computed tomography and optical surface scans—an *ex vivo* study[J]. Int Endod J, 2016, 49(8): 790-795.

(本文编辑 李彩)

敬告作者

2020年起,《华西口腔医学杂志》不再接收自由投稿的综述,不刊登教学文章,如给您带来不便,敬请谅解。

《华西口腔医学杂志》编辑部