

# 微创牙髓病学理念及微创髓腔预备方式

王晓 倪龙兴 田宇

军事口腔口腔医学重点实验室, 口腔疾病国家临床医学研究中心, 陕西省口腔医学重点实验室, 第四军医大学口腔医院牙体牙髓病科, 西安 710032

通信作者: 倪龙兴, Email: longxing\_ni@hotmail.com



扫码阅读电子版



倪龙兴

**【摘要】** 牙髓及根尖周疾病是牙体牙髓病科临床实践中最常见的疾病, 根管治疗是治疗不可逆性牙髓炎及根尖周病首选的治疗方法。近年来, 随着根管治疗器械及材料的不断发展, 以及治疗手段的进步, 微创牙髓病学(MIE)理念出现。MIE理念下的微创根管治疗不仅要求能控制感染, 而且强调保留更多健康的牙体硬组织, 追求提高

高牙齿长期留存率和正常功能的保存。其中, 微创的髓腔预备方式对提高根管治疗后牙齿抗力起到十分重要的作用。

**【关键词】** 牙髓病学, 微创; 颈周牙本质; 抗折力; 髓腔制备

**基金项目:** 陕西省科技计划(2019ZDLSF01-08); 2019年空军军医大学口腔医院新技术新业务重点培育类项目[数字化精准微创牙髓治疗(MIE)技术研究]

**引用著录格式:** 王晓, 倪龙兴, 田宇. 微创牙髓病学理念及微创髓腔预备方式[J/CD]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2020, 14(3): 133-137.

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2020.03.001

## The concept and research progress in endodontic cavities of minimal invasive endodontics

Wang Xiao, Ni Longxing, Tian Yu

State Key Laboratory of Military Stomatology & National Clinical Research Center for Oral Diseases & Shaanxi Key Laboratory of Stomatology, Department of Endodontics, School of Stomatology, The Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, China

Corresponding author: Ni Longxing, Email: longxing\_ni@hotmail.com

**【Abstract】** Pulpitis and periapical lesion are the most common diseases in clinical practice of endodontics. Root canal therapy is the preferred treatment for irreversible pulpitis and periapical diseases. Recent years, with the development of dental equipments and materials, the improvement of treatment modality, the concept of minimal invasive endodontics (MIE)

is rising gradually. Root canal therapy of the MIE, not only requires the infection control, but also emphasizes retaining as much healthy hard tissues as possible and seeks to improve the long-term retention of teeth and the preservation of normal functions. The design of endodontic cavity accesses plays a very important role in improving the resistance to fracture of endodontic treated tooth. This article summarized the concept of MIE, the concept of peri-cervical dentin (PCD) and its significance, as well as the progress in endodontic access cavities.

**【Key words】** Endodontics, minimally invasive; Peri-cervical dentin; Resistance to fracture; Dental cavity preparation

**Fund programs:** Science and Technology Plan Project of Shaanxi (2019ZDLSF01-08); 2019 Air Force Military Medical University School of Stomatology, New Technology New Business Key Cultivation Project (Digital Accurate Minimally Invasive Endodontics Technology Research)

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2020.03.001

牙髓及根尖周疾病是牙体牙髓病科临床实践中最常见的疾病。根管治疗术(root canal therapy, RCT)是不可逆性牙髓炎及根尖周病最主要、最有效的治疗方法。Reeh等<sup>[1]</sup>的研究显示, 传统根管治疗中边缘嵴等重要牙齿结构的破坏是牙齿硬度下降的主要原因。Olcay等<sup>[2]</sup>通过对根管治疗失败的牙齿进行的一项横断面研究, 认为根管治疗后牙齿未行永久性修复治疗的被拔除比例高达73.7%。Touré等<sup>[3]</sup>的一项研究显示, 传统根管治疗后的牙齿(endodontically treated teeth, ETT)有13.4%的因出现纵折而被拔除。感染控制是治疗不可逆性牙髓炎及根尖周疾病的基础, 但保留更多健康的牙体结构及硬组织, 追求提高牙齿长期留存率和正常功能的保存, 应当作为牙体牙髓专科医生更高层次的追求。

一、微创牙髓病学理念及颈周牙本质概念的提出

1. 微创牙髓病学理念的提出: 随着牙科设备、材料的不断发展, 以及治疗手段的进步, Gutmann<sup>[4]</sup>、

Clark等<sup>[5]</sup>相继提出了微创牙髓病学(minimally invasive endodontics, MIE)的理念。MIE强调保存最大数量的健康牙体组织,在有效控制感染的前提下通过精准设计根管入路等方式进行根管治疗,从而保留更多地颈周牙本质(peri-cervical dentin, PCD)及其他重要的牙体结构(如髓室顶、边缘嵴和斜嵴等)。

MIE理念应当包括而限于以下几个方面:首先是对牙髓状态做出准确判断,制定合理治疗计划,应尽可能保存活髓<sup>[6]</sup>。其次,对不可逆性牙髓炎,在根管治疗中应尽可能保留髓室顶结构及根管中上段牙本质(包括PCD),不强调过度冠部预备和直线通路的建立,减少消毒药物对牙本质的损伤,减少根管预备及根管充填中对牙本质的压力所造成的牙本质微裂。此外,在相应的牙髓治疗后应依据牙体缺损的特点选择恰当的微创修复方式<sup>[7]</sup>等。

2. 颈周牙本质的概念及作用:PCD是MIE理念中一个重要概念。目前,多数文献中将PCD定义为牙槽嵴顶殆方4 mm至牙槽嵴顶根方4 mm范围内的牙本质,并指出保存PCD对提高根管治疗后的牙齿(尤其是磨牙)的长期留存率可能具有重要的作用和积极的功能<sup>[4-5]</sup>。PCD主要有三方面作用:(1)向根方传导咬合力<sup>[8]</sup>。一项有限元分析指出牙颈部是应力集中的部位,保留更多的PCD结构有利于咬合力向根方传导,从而增加牙体的抗折性。(2)提供牙体修复所需的牙本质肩领。研究显示,在牙体缺损修复时保留一定长度及厚度的牙本质肩领能提升牙齿抗力<sup>[9-10]</sup>。(3)维系健康的嵴顶上附着组织<sup>[11]</sup>,保持牙周支持组织的稳固。

## 二、微创根管治疗的基础

近年来,采用CM丝、R相、蓝丝和金丝等新材料及变锥度、小锥度、中空等新设计方式的多种机用微创镍钛根管器械[如自适应锉(Self-Adjusting File, SAF)、XP-endo Shaper、TRUshape和VortexBlue等]相继问世。这些新型的根管器械通常具有更强的抗折性及柔韧性,并可预弯,部分材质在根管预备时可发生形态变换<sup>[12]</sup>。使临床医生可以在不进行直线通道建立的情况下进行根管预备,在减少了对颈部牙本质的切削的同时也可以较好地保留根管的原始形态、完成弯曲根管的预备。

与传统根充糊剂相比较,近年来问世的生物陶瓷类糊剂iRoot SP不仅具有流动性好、生物相容性高等优点,还可与牙本质产生化学粘接。另外,这类糊剂还具有一定的抑菌性和良好的生物活性,用于根管充填

还可增加牙根抗力<sup>[13]</sup>。以此为基础的单尖法根管充填方式的出现使得根管成形方面要求降低,同时降低了传统加压充填过程中造成牙本质微裂加剧的可能。

为溶解根管内残余物及玷污层,降低根管内的内毒素水平,防止牙本质小管作为感染微生物的储存库在一定的条件下发生再感染,根管冲洗是根管治疗中必不可少的一步。为使冲洗器和冲洗液能更容易到达根尖部以提高冲洗效果,在感染根管中常推荐采用较大的工作宽度<sup>[14]</sup>。有研究显示,大剂量高浓度的化学药物冲洗会破坏牙本质微观结构,导致牙本质基质变性、牙本质弹性降低从而易折裂<sup>[15]</sup>,而过大的锥度会导致牙齿抗力下降<sup>[16]</sup>。超声、PIPS激光、声波和柔声波<sup>[17-19]</sup>等多种新型根管消毒方式能够辅助去除根管内感染坏死的牙髓组织,并对牙本质深层的细菌及其毒性产物具有优良的清除效果,弥补了机械预备的不足,提高了化学药物根管消毒的效率,减少了化学药物的使用。另外,这些设备工作端具有相对细小或良好的柔韧性,甚至仅将工作端置于根管口,无需为达到良好的冲洗效果而增加工作宽度。

借助小视野高分辨率锥形束CT(cone-beam computed tomography, CBCT)及影像处理软件,临床医生能够在术前充分掌握髓腔解剖特点,确定根管口位置及数量<sup>[20]</sup>。而通过将3D打印及3D虚拟技术应用牙体治疗,可以制定更精准的治疗方案甚至在打印出的实体模型上提前进行模拟治疗<sup>[21]</sup>。

由于具有优良的放大功能,可帮助医生突破人眼的分辨率极限且能提供良好的照明。近年来,光学显微镜在牙体治疗中的作用凸显。手术显微镜在临床上的推广、牙体牙髓病专科医生对显微镜的熟练使用也使得在狭小空间内的根管治疗方案得以在临床实施<sup>[22]</sup>。

随着牙髓病学的进步,根管治疗的理念逐渐发生变化。根管治疗的核心在于实现感染控制目标,感染控制目标是尽量地减少根管内微生物,机械预备及成形应当只作为实现感染控制的手段。因此,尽量在控制感染的前提下实现微创根管治疗,最大限度地保留牙体组织<sup>[23]</sup>。

## 三、微创牙髓病学理念下的髓腔预备方式设计的研究进展

在MIE中,微创的髓腔预备方式起到十分重要的作用。有学者认为,MIE可看作是在建立每个根管的器械入路的同时,尽可能保留更多地牙体硬组织的一种根管通路预备设计<sup>[24]</sup>。

传统型髓腔通路预备方式<sup>[25-29]</sup>(traditional/conventional endodontic cavity, TEC/CvEC)使用球钻开髓,出现落空感后采用提拉法完全揭去髓室顶并适当敞开冠方。通过使用GG钻或开孔锉去除阻碍直达根管口的牙本质领等牙本质壁,从而建立直线通路。形成自开髓洞口至根管上段的连续、平滑、流畅的操作便利形,以引导器械顺利进入根管。随着MIE理念的提出,目前相继有数种不同的微创髓腔预备方式设计被提出。当前,较为常见的为以下几种方式:

1. 保守型髓腔通路<sup>[26]</sup>(conservative endodontic cavity, CsEC):此种髓腔通路与传统型髓腔通路相似,需完全去除髓室顶但不进行冠部预敞。使用CK钻、Endo-Z等微创钻针以45°角进入牙本质层,完全揭去髓顶并修整髓室壁,在尽量不磨除髓室顶以外的牙本质壁、不建立直线通路的情况下,形成殆面稍缩窄的顺滑根管器械通路。

2. “ninja”、紧凑型或超保守型髓腔通路(ninja/contracted/ultraconservative cavity, NEC/CEC/UEC)<sup>[27]</sup>:此种髓腔通路通常术前依据CBCT设计出开髓孔大致位置。开髓孔应尽量位于殆面中央,避开边缘嵴等解剖结构。尽量保留髓室顶的情况下,确保能完全定位所有根管口并保证根管治疗器械能顺利进入根管。

3. 桁架型髓腔通路(truss endodontic cavity, TREC)<sup>[28-29]</sup>:桁架型髓腔通路主要用于下颌磨牙,参照建筑学桁架结构的理论,依据术前CBCT分别在殆面对应近远中根的位置上开1个小孔,在确保可分别定位近远中各根管口情况下,保留中部部分的髓室顶作为“横梁”,形成桁架型结构,以提高牙齿抗力。

4. 计算机辅助设计下的导板开髓通路(computer-aided design-based guided endodontic cavity, CAD-GEC)<sup>[30-33]</sup>:这是将3D打印技术及计算机辅助设计应用于牙髓病学领域,采用导板引导的方式进行髓腔通路预备以确保根管治疗器械可以直达根管口的一种新的开髓方法。Connert等<sup>[30]</sup>学者通过使用3D打印模型牙对导航根管治疗与传统根管治疗根管预备通路进行了比较,认为无论在寻找根管位置的准确性还是保留牙齿结构方面都更具有优势。另有实验表明,直线通路建立后的根管长轴与导板设计下的长轴的差异在可接受范围内<sup>[31]</sup>。目前,国内3D导板技术在根尖外科手术及钙化根管及牙内陷的治疗的应于与研究较多<sup>[32]</sup>。

此外,目前还有利用CBCT及计算机软件在追踪摄像头下进行实时动态导航根管治疗的报道<sup>[34]</sup>,

但未见相关研究成果公布。

Marchesan等<sup>[35]</sup>的研究显示,CEC虽然不会导致根管弯曲度的增大,但可能会显著增加操作时间。王文铄等<sup>[33]</sup>通过体外实验表明单独使用CBCT可精确引导常规根管解剖形态患牙的开髓,CBCT结合导板引导微创开髓(TREC型)的精确性与使用CT引导相比无显著提高,且两种引导方法对微创开髓洞型的大小无明显影响。但此实验采用的是上颌前磨牙,而磨牙的根管形态相对复杂多变。因此,应用于磨牙时单独CBCT引导的开髓方式可能无法保证精准定位根管口从而可能在开髓及探查根管口过程中造成不必要的牙体组织丧失。Zehnder等<sup>[36]</sup>的研究显示,使用GEC能精准的建立直达根管根尖三分之一处的通路,且可应用于所有根管,因此能更好的定向保留重要牙齿结构。

四、微创髓腔预备方式对根管治疗后牙齿抗折能力的影响的研究进展

关于何种微创髓腔预备方式能增强牙齿抗折能力还存在争议。Silva等<sup>[37]</sup>将有关CEC对牙齿抗折强度影响的体外研究做系统性回顾,认为没有证据支持CEC相较于TEC在提高牙齿抗折性能方面具有优势。Özyürek等<sup>[38]</sup>的实验认为,虽然TEC与CEC在牙齿抗力上无明显差异,但采用CEC进行根管治疗后牙齿折裂产生的形式更利于再次修复,而Chlup等<sup>[39]</sup>的实验则认为对上下颌牙齿,CEC在提升牙齿抗力上的作用不同。Jiang等<sup>[40]</sup>对上颌第一磨牙进行有限元分析,发现TEC、CEC、EEC(extended endodontic cavity)在咬合面的应力分布相似,但随着去除的髓室顶结构增多,开髓孔边缘靠近边缘嵴,牙本质上的应力明显增大,PCD部位的应力也更加集中。CEC保留了更多冠部牙体组织,因而推测可能其具有更强的抗折能力。由此可见,CEC对于提高ETT抗折能力的结论还存在一定争议。Corsentino等<sup>[41]</sup>认为,TREC与TEC和CEC相比较无法增加牙齿抗力,但近远中边缘嵴的缺失会导致牙齿抗力明显下降。但关于TREC以及GEC牙齿抗折能力的研究目前国内外仍不多见,尚待进一步证明。

## 五、展望

微创根管治疗的前提条件是有效控制感染,但目前对微创根管治疗方式是否能较好的控制感染以及避免出现根管遗漏的问题仍有争议。有学者认为,根管清理效率可能受髓腔预备方式影响较大<sup>[42]</sup>。Neelakantan等<sup>[43]</sup>的实验表明,TREC与TEC在下颌

第一磨牙中根管清理后残余根管组织无明显差异。Rover等<sup>[25]</sup>发现,在使用显微镜及超声辅助下TEC与CEC根管检出率及根管预备效率无明显差异,但无超声设备及显微镜辅助根管检出率明显下降。Vieira等<sup>[44]</sup>实验显示,使用SAF进行根管预备时CEC与TEC在根管成形上的效果相似,但粪肠球菌的清除率下降。目前,关于微创髓腔预备方式下的根管清理效果的报道仍然较少。临床医生在使用微创髓腔通路前应深思熟虑,综合考量患牙的情况、自身具备的治疗手段,以获得更高的长期成功率。但相信随着牙髓病学的发展和牙科技术与材料的进步,未来微创牙髓治疗的技术敏感性和感染控制等问题会得到进一步解决。

MIE旨在提高ETT的长期留存率,因此单纯研究不同微创髓腔预备方式的根管清理效率是远远不够的,更重要的是选择更有利于提升牙齿抗力的髓腔预备方式。关于不同髓腔预备方式对牙齿抗折能力影响的研究对临床根管治疗的指导具有重要的现实意义。MIE的提出主要是为增强磨牙根管治疗后的抗折裂能力,但目前完全使用磨牙进行的相关体外实验仍不多见,多数实验中采用了前磨牙<sup>[37]</sup>,这可能是受限于完整的离体磨牙收集困难。有限元分析法(finite element analysis, FEA)是生物力学分析中的一项重要研究方式,目前已广泛用于口腔研究领域<sup>[45]</sup>。FEA具有样本需求量小的优点,当前在微创牙髓病学领域的应用也逐渐增多<sup>[46]</sup>,但FEA无法完全模拟真实口内环境,因此实验结果需更多的体外实验及临床随机对照实验来验证。

综上所述,MIE具有良好的研究前景,微创髓腔预备方式也具有十分重要的研究意义。未来与牙髓再生技术等新的治疗方法结合,MIE及微创髓腔预备方式相关研究的价值也会得到进一步体现。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

- [1] Reeh ES, Messer HH, Douglas WH. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures[J]. *J Endod*, 1989, 15(11):512-516. DOI:10.1016/S0099-2399(89)80191-8.
- [2] Olcay K, Ataoglu H, Belli S. Evaluation of Related Factors in the Failure of Endodontically Treated Teeth: A Cross-sectional Study[J]. *J Endod*, 2018, 44(1):38-45. DOI:10.1016/j.joen.2017.08.029.
- [3] Touré B, Faye B, Kane AW, et al. Analysis of reasons for extraction of endodontically treated teeth: a prospective study[J]. *J Endod*, 2011, 37(11):1512-1515. DOI:10.1016/j.joen.2011.07.002.
- [4] Gutmann JL. Minimally invasive dentistry (Endodontics)[J]. *J Conserv Dent*, 2013, 16(4):282-283. DOI:10.4103/0972-0707.114342.
- [5] Clark D, Khademi J. Modern molar endodontic access and directed dentin conservation[J]. *Dent Clin North Am*, 2013, 54(2):249-273. DOI:10.1016/j.cden.2010.01.001.
- [6] 刘奕雯,蒋宏伟. 活髓保存治疗中的微创理念[J/CD]. *中华口腔医学研究杂志(电子版)*, 2019, 13(4):193-199. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2019.04.001.
- [7] 詹爱平,曾利伟. 根管治疗后牙齿的微创修复[J]. *口腔疾病防治*, 2019, 27(3):198-201. DOI:10.12016/j.issn.2096-1456.2019.03.011.
- [8] Merdji A, Mootanah R, Abbas B, et al. Stress analysis in single molar tooth[J]. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 2013, 33(2):691-698. DOI:10.1016/j.msec.2012.10.020.
- [9] Nascimento AS, Rodrigues de Oliveira LJ, Moura AT, et al. Does ferrule thickness influence resistance to fracture of endodontically treated teeth?[J]. *J Conserv Dent*, 2018, 21(6):613-617. DOI:10.4103/JCD.JCD\_204\_16.
- [10] Kar S, Tripathi A, Trivedi C. Effect of Different Ferrule Length on Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth: An In vitro Study[J]. *J Clin Diagn Res*, 2017, 11(4):49-52. DOI:10.7860/JCDR/2017/24669.9675.
- [11] 孟焕新. 2018年牙周病和植体周病国际新分类简介[J]. *中华口腔医学杂志*, 2019, 54(2):73-78. DOI:10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2019.02.001.
- [12] 梁宇红,岳林. 根管治疗技术之根管机械预备(二)——根管预备技术和镍钛锉的发展[J]. *中华口腔医学杂志*, 2019, 54(10):717-720. DOI:10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2019.10.014.
- [13] 彭俐,王祖华. iRoot SP的理化性质和生物学性能[J]. *国际口腔医学杂志*, 2018, 45(1):78-84. DOI:10.7518/gjkq.2018.01.016.
- [14] 王瑛瑛,薛明. 根管预备的工作宽度[J]. *中国实用口腔科杂志*, 2019, 12(4):193-196. DOI:10.19538/j.kq.2019.04.001.
- [15] Wagner MH, da Rosa RA, de Figueiredo JAP, et al. Final irrigation protocols may affect intraradicular dentin ultrastructure[J]. *Clin Oral Investig*, 2017, 21(7):2173-2182. DOI:10.1007/s00784-016-2006-x.
- [16] Zogheib C, Sfeir G, Plotino G, et al. Impact of Minimal Root Canal Taper on the Fracture Resistance of Endodontically Treated Bicuspid[J]. *J Int Soc Prev Community Dent*, 2018, 8(2):179-183. DOI:10.4103/jispcd.JISPCD\_88\_18.
- [17] Akcay M, Arslan H, Mese M, et al. Effect of photon-initiated photoacoustic streaming, passive ultrasonic, and sonic irrigation techniques on dentinal tubule penetration of irrigation solution: a confocal microscopic study[J]. *Clin Oral Investig*, 2017, 21(7):2205-2212. DOI:10.1007/s00784-016-2013-y.
- [18] Ford MW. Utilizing the Gentle Wave® System for Debridement of Undetected Apical Anatomy[J]. *J Contemp Dent Pract*, 2018, 19(3):345-351. DOI:10.5005/jp-journals-10024-2264.
- [19] Susila A, Minu J. Activated Irrigation vs. Conventional non-activated Irrigation in Endodontics—A Systematic Review[J]. *Eur Endod J*, 2019, 4(3):96-110. DOI:10.14744/eej.2019.80774.

- [20] Patel S, Brown J, Pimentel T, et al. Cone beam computed tomography in Endodontics - a review of the literature [J]. *Int Endod J*, 2019, 52(8):1138-1152. DOI:10.1111/iej.13115.
- [21] Shah P, Chong BS. 3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics [J]. *Clin Oral Invest*, 2018, 22(2):641-654. DOI:10.1007/s00784-018-2338-9.
- [22] 侯本祥. 手术显微镜在牙髓病和根尖周病诊疗中的作用[J]. *中华口腔医学杂志*, 2018, 53(6):386-391. DOI:10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2018.06.005.
- [23] 高原,周学东,黄定明,等. 根管预备感染控制之惑与解惑之道 [J]. *华西口腔医学杂志*, 2018, 36(6):590-594. DOI:10.7518/hxkq.2018.06.002.
- [24] Yuan K, Niu C, Xie Q, et al. Comparative evaluation of the impact of minimally invasive preparation vs. Conventional straight-line preparation on tooth biomechanics: a finite element analysis [J]. *Eur J Oral Sci*, 2016, 124(6):591-596. DOI:10.1111/eos.12303.
- [25] Rover G, Belladonna FG, Bortoluzzi EA, et al. Influence of access cavity design on root canal detection, instrumentation efficacy, and fracture resistance assessed in maxillary molars [J]. *J Endod*, 2017, 43(10):1657-1662. DOI:10.1016/j.joen.2017.05.006.
- [26] Makati D, Shah NC, Brave D, et al. Evaluation of remaining dentin thickness and fracture resistance of conventional and conservative access and biomechanical preparation in molars using cone-beam computed tomography: An in vitro study [J]. *J Conserv Dent*, 2018, 21(3):324-327. DOI:10.4103/JCD.JCD\_311\_17.
- [27] Plotino G, Grande NM, Isufi A, et al. Fracture Strength of Endodontically Treated Teeth with Different Access Cavity Designs [J]. *J Endod*, 2017, 43(6):995-1000. DOI:10.1016/j.joen.2017.01.022.
- [28] Silva AA, Belladonna FG, Rover G, et al. Does ultraconservative access affect the efficacy of root canal treatment and the fracture resistance of two-rooted maxillary premolars? [J]. *Int Endo J*, 2020, 53(2):265-275. DOI:10.1111/iej.13219.
- [29] Abou-Elnaga MY, Alkhawas MAM, Kim HC, et al. Effect of Truss Access and Artificial Truss Restoration on the Fracture Resistance of Endodontically Treated Mandibular First Molars [J]. *J Endod*, 2019, 45(6):813-817. DOI:10.1016/j.joen.2019.02.007.
- [30] Connert T, Kruget R, Eggmann F, et al. Guided Endodontics versus Conventional Access Cavity Preparation: A Comparative Study on Substance Loss Using 3-dimensional-printed Teeth [J]. *J Endod*, 2019, 45(3):327-331. DOI:10.1016/j.joen.2018.11.006.
- [31] Nayak A, Jain K, Kankar PK, et al. Computer-aided design-based guided endodontic: A novel approach for root canal access cavity preparation [J]. *Proc Inst Mech Eng H*, 2018, 232(8):787-795. DOI:10.1177/0954411918788104.
- [32] 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. DOI:10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2019.01.013.
- [33] 王文钰,蔡艳玲,蒋宏伟,等. 锥形束CT与导板引导微创开髓精确性的体外研究 [J/CD]. *中华口腔医学研究杂志(电子版)*, 2019, 13(3):158-165. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2019.03.005.
- [34] Anjum SA, Hegde S, Mathew S. Minimally Invasive Endodontics - A Review [J]. *J Dent Oro-fac Res*, 2019, 15(2):77-88.
- [35] Marchesan MA, Lloyd A, Clement DJ, et al. Impacts of Contracted Endodontic Cavities on Primary Root Canal Curvature Parameters in Mandibular Molars [J]. *J Endod*, 2018, 44(10):1558-1562. DOI:10.1016/j.joen.2018.07.008.
- [36] 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. DOI:10.1111/iej.12544.
- [37] Silva EJNL, Rover G, Belladonna FG, et al. Impact of contracted endodontic cavities on fracture resistance of endodontically treated teeth: a systematic review of in vitro studies [J]. *Clin Oral Invest*, 2018, 22(1):109-118. DOI:10.1007/s00784-017-2268-y.
- [38] Özyürek T, Ülker Ö, Demiryürek EÖ, et al. The Effects of Endodontic Access Cavity Preparation Design on the Fracture Strength of Endodontically Treated Teeth: Traditional Versus Conservative Preparation [J]. *J Endod*, 2018, 44(5):800-805. DOI:10.1016/j.joen.2018.01.020.
- [39] Chlup Z, Žizka R, Kania J, et al. Fracture behaviour of teeth with conventional and mini-invasive access cavity designs [J]. *J Eur Cer Soc*, 2017, 37(14):4423-4429. DOI:10.1016/j.jeurceramsoc.2017.03.025.
- [40] Jiang Q, Huang Y, Yang X, et al. Biomechanical Properties of First Maxillary Molars with Different Endodontic Cavities: A Finite Element Analysis [J]. *J Endod*, 2018, 44(8):1283-1288. DOI:10.1016/j.joen.2018.04.004.
- [41] Corsentino G, Pedullà E, Castelli L, et al. Influence of Access Cavity Preparation and Remaining Tooth Substance on Fracture Strength of Endodontically Treated Teeth [J]. *J Endo*, 2017, 44(9):1416-1421. DOI:10.1016/j.joen.2018.05.012.
- [42] Krishan R, Paqué F, Ossareh A, et al. Impacts of conservative endodontic cavity on root canal instrumentation efficacy and resistance to fracture assessed in incisors, premolars, and molars [J]. *J Endod*, 2014, 40(8):1160-1166. DOI:10.1016/j.joen.2013.12.012.
- [43] Neelakantan P, Khan K, Hei Ng GP, et al. Does the Orifice-directed Dentin Conservation Access Design Debride Pulp Chamber and Mesial Root Canal Systems of Mandibular Molars Similar to a Traditional Access Design? [J]. *J Endod*, 2018, 44(2):274-279. DOI:10.1016/j.joen.2017.10.010.
- [44] Vieira GCS, Pérez AR, Alves FRF, et al. Impact of Contracted Endodontic Cavities on Root Canal Disinfection and Shaping [J]. *J Endod*, 2020. DOI:10.1016/j.joen.2020.02.002.
- [45] Trivedi S. Finite element analysis: A boon to dentistry [J]. *J Oral Biol Craniofac Res*, 2014, 4(3):200-203. DOI:10.1016/j.jobcr.2014.11.008.
- [46] 陈昭慧,陈悦,王效英,等. 三维有限元在微创牙髓治疗研究中的应用进展 [J]. *临床口腔医杂志*, 2019, 35(5):316-318. DOI:10.3969/j.issn.1003-1634.2019.05.018.

(收稿日期:2019-12-26)

(本文编辑:王嫚)