

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2022.03.012

· 综述 ·

## 微创开髓及其牙体的应力分析的研究进展

郑吉吉<sup>1,2</sup>, 罗光云<sup>1,2</sup>, 吴家媛<sup>2</sup>

1. 遵义医科大学, 贵州 遵义(563000); 2. 遵义医科大学附属口腔医院, 贵州 遵义(563000)

**【摘要】** 微创开髓(conservative endodontic access cavity, CEC)是微创根管治疗术的第一步,经 CEC 治疗后的患牙较大程度保留了牙尖嵴和颈周牙本质等牙体硬组织,对于减少患牙的牙体流失及增强远期疗效具有重要意义。CEC 存在多种入路方式及相应的洞型。确定髓腔入路的方法包括 X 线片定位法、显微 CT/锥形束 CT 定位法以及数字化导板定位法。其中, X 线片、显微 CT/锥形束 CT 定位法操作简便,临床较为常用;而较为复杂的根管系统,利用数字化导板可建立更精准的开髓通路,减少牙体硬组织不必要的丧失,但数字化导板定位价格较高,临床上并未得到广泛的应用。CEC 的洞型包括微创开髓洞型、超保守微创开髓洞型、“Truss”洞型以及切端洞型。CEC 洞型与传统开髓洞型的应力分析目前以万能力学试验机加载离体牙、有限元分析法及临床观察为主,大多数学者的研究显示保留较多牙体组织的 CEC 可提高牙齿的抗折强度,但二者之间的抗折能力仍存在争议,在达到牙髓治疗目的与最大限度保留牙体结构之间如何达到平衡,仍需进一步的探索。

**【关键词】** 微创开髓; 微创牙髓治疗; 微创入路; 颈周牙本质; 牙窝洞制备; 抗折强度; 折裂力; 应力分析

**【中图分类号】** R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2022)03-0225-04

**【引用著录格式】** 郑吉吉, 罗光云, 吴家媛. 微创开髓及其牙体的应力分析的研究进展[J]. 口腔疾病防治, 2022, 30(3): 225-228. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2022.03.012.

**Research progress on conservative endodontic access cavities and its stress analysis of teeth** ZHENG Jiji<sup>1,2</sup>, LUO Guangyun<sup>1,2</sup>, WU Jiayuan<sup>2</sup>. 1. Zunyi Medical University, Zunyi 563000, China; 2. Stomatological Hospital Affiliated to Zunyi Medical University, Zunyi 563000, China

Corresponding author: WU Jiayuan, Email: wujiayuan@zmu.edu.cn, Tel: 86-15692034756

**【Abstract】** Conservative endodontic access cavity (CEC) is the first step of minimally invasive endodontics. After that operation, teeth retain the dental hard tissue, such as crest and peri-cervical dentin, to a large extent. It is of great significance to reduce the tissue excision and achieve a favorable prognosis. There are a variety of approaches and corresponding cavities in CEC. The methods to determine the medullary approach include X-ray localization, micro CT/cone beam CT localization and digital guide plate localization. Among them, X-ray film and micro CT/cone beam CT are simple and commonly used in the clinic. For more complex root canal systems, the use of a digital guide plate can establish a more accurate pulp opening pathway and reduce the unnecessary loss of tooth hard tissue. However, the positioning price of a digital guide plate is high, and it has not been widely used in the clinic. The hole types of CEC include minimally invasive medullary hole type, super conservative minimally invasive medullary hole type, "Truss" hole type and cutting end hole type. The stress analysis of CEC and traditional endodontic access (TEC) cavity are mainly based on the loading of teeth by a universal mechanical testing machine in vitro, finite element analysis and clinical observation. Most scholars' studies have shown that minimally invasive endodontics can improve the fracture resistance of teeth, but the differential capacities of CEC and TEC remain controversial. How does on balance the purpose of pulp treatment and the maximum retention of tooth tissue? Further exploration is still needed.

**【收稿日期】** 2020-11-06; **【修回日期】** 2021-03-11

**【基金项目】** 国家自然科学基金项目(81460102); 贵州省科技厅自然科学基金项目(黔科合 J 字 LKZ[2013]11)

**【作者简介】** 郑吉吉, 硕士研究生, Email: 1422892547@qq.com

**【通信作者】** 吴家媛, 教授, 博士, Email: wujiayuan@zmu.edu.cn, Tel: 86-15692034756



微信公众号

**【Key words】** conservative endodontic access cavity; minimally invasive endodontics; conservative approach; peri-cervical dentin; dental cavity preparation; fracture resistance; fracture strength; stress analysis

**J Prev Treat Stomatol Dis, 2022, 30(3): 225-228.**

**【Competing interests】** The authors declare no competing interests.

This study was supported by the grants from National Natural Science Foundation of China (No. 81460102) and Natural Science and Technology Foundation of Guizhou Province (No. JLKZ[2013]11).

微创牙髓治疗(minimally invasive endodontics, MIE)是在牙髓治疗过程中最大限度地保留健康的牙体组织,强调在阻断已有病变发生及发展的基础上,更好地保持牙体结构的完整性从而提高患牙的远期疗效<sup>[1]</sup>。MIE以微创开髓(conservative endodontic access cavity, CEC)方式对传统开髓洞型进行改良,通过精准的开髓,尽量保存在咬合运动中起重要作用的结构<sup>[2]</sup>。对于CEC后牙齿应力及抗折能力的变化,学者仍存在一些争论:大多数学者认为CEC在较大程度上保留舌隆突、斜嵴、髓室顶及颈周牙本质可增强患牙抗折能力<sup>[3]</sup>;也有一些学者将它运用于临床并进行了报道<sup>[4]</sup>;但由于大量无基釉的保留,其抗折能力可能减弱,一部分学者认为没有足够证据支持使用CEC代替传统开髓腔(traditional endodontic access cavity, TEC)可增强人牙齿的抗折能力<sup>[5]</sup>。本文拟就CEC的微创开髓入路、开髓洞型及其牙体的应力分析方法作一综述。

## 1 确定微创开髓入路的方法

TEC开髓时,大多数临床医师根据殆面解剖结构定位开髓点,根据髓腔形态确定开髓洞型,但面对CEC,牙体解剖结构定位法可能难以保证较为精确的开髓效果,需考虑以下方法协助开髓。

### 1.1 X线片定位法

X线片目前仍是牙体牙髓病诊疗过程中最常用的辅助手段。医师可在离体牙上拍摄颊舌向和近远中向两张X线片对根管口在咬合面的位置进行二维定位,并确定开髓的方向,使用裂钻或小球钻在殆面定位处向根管口方向瞄准,进行直钻式开髓,可避免去除过多的牙体硬组织<sup>[6]</sup>。在临床应用中,因只有一张颊舌向X线片,其精确度必定下降。但有学者认为只要正确掌握开髓的位置和手法,利用X线片定位法对前牙也可达到CEC的开髓目的<sup>[7]</sup>。此方法操作简便易行,其成功率往往取决于术者的临床经验。

### 1.2 显微CT/锥形束CT定位法

显微CT(micro-computed tomography, micro-CT)和锥形束CT(cone beam computed tomography, CBCT)均采用三维锥形X线束;micro-CT视野小,主要面向体外研究,对样品精细结构的呈现优于CBCT,被认为是影像学的金标准<sup>[8]</sup>。在关于CEC的国内外现有研究中,micro-CT主要针对离体牙,CBCT则主要用于临床。通过micro-CT或CBCT对牙齿进行断层扫描和三维重建,画出根管上1/3段延长线至咬合面交点,测量此点距离近中边缘嵴的距离即为X;同理画出距离颊侧边缘嵴的距离即为Y,由此得出定位点在咬合面上以近中颊点为原点的坐标(X,Y)<sup>[9]</sup>。使用Mimics软件可协助确定开髓角度;辅以口腔手术显微镜可提供清晰的局部放大视野,以便准确探查根管,防止过度扩大开髓洞型。与根尖X线片相比,CT图像的精确度和敏感度更高,能体现牙体及根管的三维形态<sup>[10]</sup>;与下文中提到的数字化导板相比,单独使用CT的精确性与CT结合导板比较无显著差异,且两种引导方法对CEC洞型的大小无明显影响。

### 1.3 数字化导板定位法

数字化导板是借助计算机辅助设计与制造以及3D打印技术发展而来的新技术,被广泛应用于种植和外科领域,近年来也为牙体牙髓病学的临床研究与应用提供了新思路。数字化导板定位法是将牙齿CBCT或micro-CT资料导入计算机设计软件,根据特定域值进行三维重建,对髓腔入路进行虚拟规划,通过3D打印机按设计方案制作出导板,在导板的引导下开髓,可建立理想的CEC髓腔入路<sup>[11]</sup>。此方法大大提高了CEC的精确性,有效减少了穿孔等不可逆性并发症;尤其对于严重钙化的较为复杂的根管系统,利用数字化导板可建立更精准的开髓通路,减少牙体硬组织不必要的丧失。但是数字化导板定位价格较高,且需要更长的治疗周期,其并未在牙体牙髓病的临床诊疗中被广泛使用。

## 2 常见的微创开髓洞型

操作者的设备条件与能力不尽相同,因此开髓孔没有固定的形状<sup>[12]</sup>。CEC并不是指开髓孔要尽量的小,其需要根据患者和患牙情况,在去除病变组织建立可行的髓腔通道与尽量保存重要牙体结构之间寻找一个平衡点。其洞型大致分为以下几类:

### 2.1 CECs

研究者对传统的开髓洞型进行改良,设计了微创开髓洞型(conservative endodontic access cavities, CECs)。CECs类似于传统开髓洞型,在牙齿中央窝处开髓,不完全去除髓室顶,并仅在必要时扩展以寻找根管开口,从而更多地保留了颈周牙本质和髓室顶等牙体硬组织;但对于初学者或根管口钙化的患牙,会增大操作难度<sup>[13]</sup>。

### 2.2 NECs

此洞型的开髓点位于各根管上段延长线在殆面的投射区域,洞型轮廓口小底大,似“忍者”形状,因此叫超保守“忍者”洞型(“ninja” endodontic access cavities, NECs)<sup>[14]</sup>。它是在CEC的观念下发展而来,比CEC更微创,同时术者也容易从不同的角度追踪根管口;但因为其开髓孔更小,增加了根管预备时扩大针的弯曲程度,较容易导致根管治疗并发症的发生。

### 2.3 “Truss”洞型

“Truss”洞型一般在殆面设计两个开髓孔:下颌磨牙近中开髓孔通向近中颊舌根,远中开髓孔通向远中根或远中颊舌根;上颌磨牙腭根为单独的开髓孔,颊侧开髓孔联通颊侧近远中根及近颊腭根<sup>[15]</sup>。其外形类似于改良直线通路,可保存更多牙本质;但其准确的入路需要借助上文中提到的CBCT、数字化导板,且需要术者丰富的经验。

### 2.4 切端洞型

此洞型是切牙的微创洞型,由根管向冠方向的延长线在牙面的投射点确定开髓孔,采用小裂钻或小球钻在所定开髓点方向上直接钻入,形成一条微创平缓的开髓通道,这样的设计可以更好地保留颈周牙本质和舌隆突,但会损伤到切端的牙体组织,可能会影响切牙发挥切割功能<sup>[16]</sup>。

研究表明,磨牙经CEC入路的抗折性比经TEC入路的高<sup>[17]</sup>;但在TEC与CECs、NECs的比较中:TECs的抗折强度低于CECs和NECs,CECs和NECs的抗折强度差异无统计学意义<sup>[14]</sup>;“Truss”洞型对牙体组织破坏小,与根管中上部走行一致,有利于

后续根管预备与充填,在CEC的研究和临床应用中最为广泛,但近期有学者认为采用“Truss”洞型设计的患牙断裂强度与TEC对照组无显著性差异<sup>[18]</sup>;而前牙的切端洞型比起舌侧入路的TEC洞型其抗折能力明显增强,有学者认为采用此洞型入路的前牙不必增加全冠修复,也能达到相同的抗折能力<sup>[16]</sup>。

## 3 CEC治疗后牙体的应力分析方法

### 3.1 离体牙+万能力学试验机

Chlup等<sup>[19]</sup>将离体牙包埋于树脂中进行CEC与TEC治疗,用万能力学试验机向牙齿殆面不同方向模拟自然载荷加力,结果显示CEC组牙齿抗折能力明显大于TEC组;Corsentino等<sup>[3]</sup>的实验表明:近、远中边缘嵴处相应牙体组织的缺损显著降低了牙齿的断裂强度,不同数量残留壁的CEC之间亦观察到了差异,保留边缘嵴、斜嵴、髓室顶的实验组具有更强的抗折性能;这类研究说明保留更多的牙体硬组织以维持牙体结构的完整性可提高治疗后患牙的抗折强度。离体牙力学加载实验缺少牙周附着组织的缓冲,加之牙体拔除过程难免导致隐形裂纹,这样的实验在研究历程中虽然必要且具有重要参考价值,但面向力学分析可能会与临床真实情况存在一定差异。

### 3.2 离体牙+有限元分析法

有限元分析法是一种理论力学分析工具,它将牙齿CT数据导入软件进行三维重建,生成实体模型,在模型上设计各种开髓洞型,并模拟口腔咀嚼情况向颌面各方向加载压力,进而分析CEC牙体各部位的应力变化及大小<sup>[20]</sup>。目前几乎所有关于比较CEC与TEC的有限元分析法研究都表明,更微创的开髓洞型和预备通道能减少应力的集中,且CEC组牙齿比TEC组更不容易折裂<sup>[21]</sup>。其中,颈周牙本质的保留与维持牙体结构的完整性同样重要,颈周牙本质指牙槽嵴顶上下4 mm的牙本质,此区域牙本质的保存量与牙颈部应力的集中大小密切相关,是患牙治疗后能否长期保存的关键<sup>[12]</sup>,近期有学者利用有限元分析法在下颌第一磨牙上设计不同的髓腔入路来测量各开髓方式下牙本质移除量,结果表明CEC可大大减少颈周牙本质丧失<sup>[16]</sup>,这可能是微创开髓后牙齿抗折性能增加的原因之一。但有限元分析法实验是计算机化的体外研究,无法完全复制临床条件,尚属于虚拟的理论力学研究,具有局限性,其实验结果仍

需辅以临床观察与评价。

#### 4 总结与展望

综上所述,CEC的髓腔入路方法和洞型设计已日趋成熟,尽管其应力分析和抗折性能的研究目前尚存在一些争议,但尽量保留牙体硬组织可增加牙体抗折能力的观念近年来已逐渐成为一种共识。另外,后续的研究应继续探讨经CEC治疗的牙齿生物力学性能如何变化,以及在达到牙髓治疗目的和去除最少量的牙体组织之间如何平衡。

**【Author contributions】** Zheng JJ wrote the article. Luo GY revised the article. Wu JY reviewed the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

#### 参考文献

- [1] Vieira G, Pérez AR, Alves F, et al. Impact of contracted endodontic cavities on root canal disinfection and shaping[J]. J Endod, 2020, 46(5): 655-661. doi: 10.1016/j.joen.2020.02.002.
- [2] Isufi A, Plotino G, Grande NM, et al. Standardization of endodontic access cavities based on 3-dimensional quantitative analysis of dentin and enamel removed[J]. J Endod, 2020, 46(10): 1495-1500. doi: 10.1016/j.joen.2020.07.015.
- [3] 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 Endod, 2018, 44(9): 1416-1421. doi: 10.1016/j.joen.2018.05.012.
- [4] Hussain M, Hegde V, Srilatha S, et al. Conservative endodontics: atruss access case series[J]. Int J Appl Dent Sci, 2019, 5(4): 213-218.
- [5] Silva E, 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 Investig, 2018, 22(1): 109-118. doi: 10.1007/s00784-017-2268-y.
- [6] Omer OE, Al Shalabi RM, Jennings M, et al. A comparison between clearing and radiographic techniques in the study of the root canal anatomy of maxillary first and second molars[J]. Int Endod J, 2004, 37(5): 291-296. doi: 10.1111/j.0143-2885.2004.00731.x.
- [7] Zhengyan Y, Keke L, Fei W, et al. Cone-beam computed tomography study of the root and canal morphology of mandibular permanent anterior teeth in a Chongqing population[J]. Ther Clin Risk Manag, 2016, 12: 19-25. doi: 10.2147/TCRM.S95657.
- [8] Chen C, Zhang X, Guo J, et al. Quantitative imaging of peripheral trabecular bone microarchitecture using MDCT[J]. Med Phys, 2018, 45(1): 236-249. doi: 10.1002/mp.12632.
- [9] Lara-Mendes S, Barbosa C, Machado VC, et al. A new approach for minimally invasive access to severely calcified anterior teeth using the guided endodontics technique[J]. J Endod, 2018, 44(10): 1578-1582. doi: 10.1016/j.joen.2018.07.006.
- [10] Van Der Meer WJ, Vissink A, Ng YL, et al. 3D computer aided treatment planning in endodontics[J]. J Dent, 2016, 45: 67-72. doi: 10.1016/j.jdent.2015.11.007.
- [11] 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. doi: 10.1111/iej.12809.
- [12] 吴补领, 陈明. 微创根管治疗术[J]. 口腔疾病防治, 2017, 25(2): 69-73. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2017.02.001. Wu BL, Chen M. Minimally invasive root canal therapy[J]. J Prev Treat Stomatol Dis, 2017, 25(2): 69-73. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.2017.02.001.
- [13] Neelakantan P, Khan K, Hei NG, 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.
- [14] Plotino G, Grande NM, Isufi AA, 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.
- [15] Saber SM, Hayaty DM, Nawar NN, et al. The effect of access cavity designs and sizes of root canal preparations on the biomechanical behavior of an endodontically treated mandibular first molar: a finite element analysis[J]. J Endod, 2020. doi: 10.1016/j.joen.2020.06.040.
- [16] Lin CY, Lin D, He WH. Impacts of 3 different endodontic access cavity designs on dentin removal and point of entry in 3-dimensional digital models[J]. J Endod, 2020, 46(4): 524-530. doi: 10.1016/j.joen.2020.01.002.
- [17] 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.
- [18] Saberi EA, Pirhaji A, Zabetiyan F. Effects of endodontic access cavity design and thermocycling on fracture strength of endodontically treated teeth[J]. Clin Cosmet Investig Dent, 2020, 12: 149-156. doi: 10.2147/CCIDE.S236815.
- [19] Chlup Z, Žižka R, Kania J, et al. Fracture behaviour of teeth with conventional and mini-invasive access cavity designs[J]. J Eur Ceram Soc, 2017, 37(14): 4423-4429. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2017.03.025.
- [20] Kim S, Chen D, Park SY, et al. Stress analyses of retrograde cavity preparation designs for surgical endodontics in the mesial root of the mandibular molar: a finite element analysis - part II[J]. J Endod, 2020, 46(4): 539-544. doi: 10.1016/j.joen.2019.12.007.
- [21] Zhang Y, Liu Y, She Y, et al. The effect of endodontic access cavities on fracture resistance of first maxillary molar using the extended finite element method[J]. J Endod, 2019, 45(3): 316-321. doi: 10.1016/j.joen.2018.12.006.

(编辑 周春华)



官网