

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2022.02.010

· 综述 ·

影响髓腔固位冠边缘密合性及机械强度的材料与牙体预备因素

王佳琴, 何虹, 汪颖, 邓晓桐, 孙铭婕, 刘啸晨, 陈怡

浙江大学医学院附属口腔医院 浙江大学口腔医学院 浙江省口腔疾病临床医学研究中心 浙江省口腔生物医学研究重点实验室 浙江大学癌症研究院, 浙江 杭州(310006)

【摘要】 髓腔固位冠是一种全冠和超嵌体的改良型,兼具粘接固位和髓腔机械固位。边缘密合性和机械强度是口腔修复体最常见的评价标准,笔者就近年来髓腔固位冠边缘密合性和机械强度的国内外研究进行综述。研究表明:各类临床常用的修复材料如玻璃陶瓷、氧化锆陶瓷及树脂基陶瓷制作的髓腔固位冠基本都具有临床可接受的边缘密合性;氧化锆是临床常用的陶瓷材料,但有不可再修复的根折风险;与氧化锆陶瓷材料相比,树脂基陶瓷、玻璃陶瓷如二硅酸锂陶瓷制作的髓腔固位冠较少出现不可再修复的缺陷,但其强度不及氧化锆。同时,牙体预备方式如髓腔固位冠类型、髓腔固位深度、髓腔洞形轴壁外展度以及殆面厚度均对髓腔固位冠的机械强度存在影响。釉瓷作为一种新型氧化锆材料,与传统氧化锆有相似的弹性模量(210 GPa),但美观性更佳,且与髓腔固位冠一样适合于咬合空间不足的短冠患者。如何进行改良以降低氧化锆制作髓腔固位冠修复失败后的根折风险需要进一步的研究。

【关键词】 髓腔固位冠; 边缘密合性; 机械性能; 陶瓷材料; 氧化锆; 釉瓷; 牙体预备; 有限元分析

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2022)02-0134-06

【引用著录格式】 王佳琴,何虹,汪颖,等.影响髓腔固位冠边缘密合性及机械强度的材料与牙体预备因素[J].口腔疾病防治,2022,30(2):134-139. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.2022.02.010.

Marginal adaptation and mechanical strength of endocrowns with different materials and tooth preparation design: a review WANG Jiaqin, HE Hong, WANG Ying, DENG Xiaotong, SUN Mingjie, LIU Xiaochen, CHEN Yi. Stomatology Hospital, School of Stomatology, Zhejiang University School of Medicine, Clinical Research Center for Oral Diseases of Zhejiang Province, Key Laboratory of Oral Biomedical Research of Zhejiang Province, Cancer Center of Zhejiang University, Hangzhou 310006, China

Corresponding author: HE Hong, Email: honghehh@zju.edu.cn, Tel: 86-571-87217431

【Abstract】 The endocrown, a modified overlay or crown, is considered to have the advantages of adhesive retention and mechanical retention. Marginal adaptation and mechanical strength are common criteria for evaluating endocrowns. This review studied these aspects of endocrowns to guide further clinical application. Results from previous academic studies indicate that endocrowns made of different materials, such as glass-based ceramics, zirconia-based ceramics and resin-based ceramics, exhibit clinically acceptable marginal adaptation. Zirconia is a common dental material, but when used in endocrowns, it tends to present a risk of irreparable tooth root fractures. Compared with products manufactured with zirconia, endocrowns manufactured with resin-based ceramics and glass-based ceramics, such as lithium disilicate



微信公众号

【收稿日期】 2021-03-01; **【修回日期】** 2021-09-14

【基金项目】 国家重点研发计划合作项目(2016YFC0902702); 国家卫计委公益性行业专项基金(201502018); 卫计委省部共建重大科研计划(WKJ-ZJ-1623); 中央高校基本科研业务费专项资金(2020FZZX008-10); 浙江省自然科学基金(LY21H140002); 浙江大学医学院教学课题(xyby20172030)

【作者简介】 王佳琴, 医师, 硕士, Email: 1033310745@qq.com

【通信作者】 何虹, 主任医师, 博士, Email: honghehh@zju.edu.cn, Tel: 86-571-87217431

ceramics, do not tend to cause irreparable results, such as tooth root fracture, but their mechanical strengths are not as good as those of zirconia. At the same time, the tooth preparation design such as the types of endocrowns, the pulp chamber extension depth and angles, the endocrown thickness can influence the mechanical strength of endocrowns as well. Compared with traditional zirconia, self-glazed zirconia, a new type of material used to restore defective teeth, has the similar elasticity modulus (210 GPa) and better aesthetic advantages, and is suitable for short crown patients with insufficient occlusal space. Further study is warranted to improve the performance of endocrowns made from ceramic materials to prevent root fracture.

【Key words】 endocrown; marginal adaptation; mechanics; ceramics; zirconia; self-glazed zirconia; tooth preparation; finite element analysis

J Prev Treat Stomatol Dis, 2022, 30(2): 134-139.

【Competing interests】 The authors declare no competing interests.

This study was supported by the grants from National Key R&D Program of China (No.2016YFC0902702); National Health Commission Public Welfare Fund (No.201502018); National and Provincial Health Commission Co-construction Fund (No.WKJ-ZJ-1623); Fundamental Research Funds for the Central Universities (No.2020FZZX008-10); Natural Science Foundation of Zhejiang Province (No.LY21H140002); Teaching Reform Project of Zhejiang University School of Medicine (No.yxyb20172030).

髓腔固位冠作为一种较新的修复方式,将粘接固位与机械固位相结合,为临床上咬合空间不足的短冠患者提供了一种治疗新思路,临床上应用的成功病例也越来越多。有研究报道了髓腔固位冠令人满意的临床修复效果^[1],然而也有一些研究显示使用髓腔固位冠出现根折现象^[2-3]。本文就材料及牙体预备方式对髓腔固位冠边缘密合性及机械强度影响的研究进展进行综述。

1 边缘密合性

边缘密合性被认为是影响修复体远期存活率最重要的因素之一。边缘不密合会导致该部位无法得到有效清洁,为细菌生长繁殖提供绝佳条件,从而引发牙体牙周问题,最终导致修复体的失败。绝对边缘差异是评估边缘密合性的常用方法,一般认为绝对边缘差异不超过 120 μm 时是临床上可接受的^[4]。

1.1 材料对冠边缘密合性的影响

很多学者探究了影响髓腔固位冠边缘密合性的可能因素,大多数研究与材料相关。临床上常用的陶瓷材料主要可分为三大类:玻璃陶瓷、树脂基陶瓷及氧化锆陶瓷。玻璃陶瓷及树脂基陶瓷的机械强度不如后两者,树脂基陶瓷还具有不耐磨的缺点,但这两者弹性模量接近于正常的牙体组织。氧化锆陶瓷的机械强度最大,但弹性模量远高于正常牙体组织,容易出现牙体折裂等类型的修复体失败。

Zimmermann 等^[5]认为树脂基陶瓷制作的髓腔固位冠比氧化锆加强二硅酸锂材料具有更好的边缘适合性。这可能是由于非树脂基陶瓷材料具有更大的脆性,在切削过程中容易形成不平整的边缘。然而 El Ghoul 等^[6]比较了复合纳米陶瓷、纤维复合陶瓷、二硅酸锂陶瓷、氧化锆加强二硅酸锂陶瓷材料后,得出了相反的结论,认为树脂基陶瓷材料边缘密合性不如非树脂基陶瓷材料,但他们测量的边缘间隙总体较大。

测量修复体边缘密合性的方法有很多,其中直接显微测量及取模后间接观察是常用的测量方法。El Ghoul 等^[6]将牙体组织复刻后用显微镜观察的方式测量边缘密合性,Zimmermann 等^[5]则使用 3D 扫描后测量。Taha 等^[7]比较了四种陶瓷材料制作的髓腔固位冠,结果显示边缘密合性没有统计学差异,所有试件均达到了临床标准,但经过粘接及热力试验后这些修复体边缘间隙都有所增加。Hasanzade 等^[8]也认为材料类型并不影响髓腔固位冠的边缘密合性,但内间隙受修复体类型影响,全冠的内间隙大于髓腔固位冠,主要是因为全冠咬合面预备成与牙尖外形吻合的多个平面,这在一定程度上会造成修复体的过度铣削,修复体边缘密合性受此影响大于扫描产生的误差。不同的测量方法、修复体的制作方式、操作和机器的误差可能是导致这些结果差异的原因。总之,尽管不同陶瓷材料制作的髓腔固位冠边缘密合性可能会有所差异,但大多能达到临床要求的小于 120 μm

的边缘差异。因此在材料的选择方面应更多考虑咬合力大小、牙体缺损大小等影响修复体机械强度的因素。

1.2 牙体预备对冠边缘密合性的影响

Ghajghouj 等^[9]、Rocca 等^[10]研究结果显示,髓腔固位冠的髓腔深度并不影响髓腔固位冠的边缘密合性。而也有研究显示牙体预备设计会影响边缘密合性。Shin 等^[11]研究发现随着洞深加深(2~4 mm),髓腔固位冠的边缘密合性变差,这一结果可能是由于随着洞深增加,髓底处扫描更容易产生误差,不同扫描系统扫描精确度也会有差异^[12]。有研究证实修复体最不密合处位于髓底处^[11,13],而这种扫描精确度差异引起的在髓底处的不密合最终有可能会边缘的不密合。基于以上文献,髓腔深度对髓腔固位冠边缘密合性的影响本质上是由于不同深度扫描精确度的差异造成,过深的髓腔可能会影响扫描的精确性。有学者对髓腔深度(从中央沟到髓室底)为5~7 mm的髓腔固位冠进行数字化口扫和传统硅橡胶二次印模法制作进行比较研究,认为两者能够得到相似的精确性^[14]。

髓腔固位冠髓腔轴壁外展度对边缘密合性影响的相关文献较少。有文献报道,使用了8°~10°的轴壁外展度均获得了较好的密合性^[7-9,12]。Darwish 等^[15]对此进行了研究,比较了轴壁外展度为6°和轴壁外展度为10°对髓腔固位冠内部密合性的影响,结果显示外展度较小的髓腔固位冠具有更好的内部密合性,这在一定程度上决定了边缘密合性差异。

另有学者通过进一步的实验设计来提高边缘密合性。Rocca 等^[16]研究了纤维加强树脂材料在髓底处垫底配合髓腔固位冠使用的效果,但结果显示边缘密合性没有明显提高。

总体而言,目前大部分文献研究显示不同预备方式制作的髓腔固位冠都能达到临床可接受的边缘密合性。为获得足够机械固位力,髓腔固位需要具有一定深度(一般认为需要大于2 mm),这在一定程度上会影响其边缘密合性,保证足够深度的前提下减小轴壁外展度可能对增加其固位及边缘密合性有重要意义。

2 机械强度

机械强度是评估修复体的另一重要因素,断裂强度和断裂模式是常用的评估标准。修复体如

果没有足够的抗断裂强度就无法正常行使功能,而其失败时的断裂模式则决定了牙体再修复的可能性。修复体在日常行使功能时处于十分复杂的受力情况,实验条件下无法完全模拟口腔内受力状况,修复体的失败往往是由于异常咬合在某一方面产生瞬时的巨大负荷,因此在修复体机械强度的研究中,常使用垂直和斜向载力来模拟失败瞬时的载力。三维有限元分析(three dimension-finite element analysis, 3D-FEA)是用软件进行模型重建,分析物体在复杂载荷下力学分布的常用方法,常被用来模拟口腔内状况进行修复体及牙体的受力分析。三维有限元分析多采用等效应力分析来评估材料的力学性能,认为当等效应力大于其抗拉强度,材料就会断裂。很多学者使用三维有限元分析进行髓腔固位冠机械强度的分析^[17-24]。

2.1 材料对冠机械强度的影响

大多数机械强度的研究也与材料相关。髓腔固位冠的断裂强度直接决定于材料的力学性能。陶瓷材料因为其美观性和足够的力学强度,被普遍应用于口腔修复中。El Ghouli 等^[2]研究发现相较于树脂基陶瓷,二硅酸锂陶瓷制作的髓腔固位冠拥有更大的断裂强度,但同时也易出现不可再修复的失败情况。二硅酸锂陶瓷是一种玻璃陶瓷,其弹性模量约95 GPa,接近牙釉质的弹性模量(94 GPa),但远高于牙本质的弹性模量(18 GPa),而树脂基陶瓷弹性模量与牙本质较接近,约30 GPa^[25]。对于牙体缺损较大的牙体,其粘接面主要位于牙本质,这可能也是玻璃陶瓷冠较树脂基陶瓷冠更容易出现根折的原因。

氧化锆作为一种弹性模量更大的材料,其弹性模量可高达210 GPa^[25],在髓腔固位冠的制作应用上,更应谨慎。Aktas 等^[26]比较了氧化锆增强和多聚物渗透陶瓷制作的髓腔固位冠,结果显示两者断裂强度没有明显差异,作者不推荐使用氧化锆增强的材料,因为其出现了难以再修复的根折结果,另外两者出现的主要是修复体脱落问题。

Chen 等^[17]使用三维有限元分析研究了三种材料制作的髓腔固位冠在受力情况下的应力分布图,得出弹性模量较高的材料能够减少力向牙体组织的传导,从而起到保护剩余牙体组织的作用。Zhu 等^[27]却得出了不一样的结论,认为弹性模量高的材料在粘接方面体现出更优的性能,却无法有效保护牙体组织;而弹性模量低的材料在受垂直力及45°斜向力时应力主要集中在粘接层。

不过学者们最终得出的结论都是最佳修复材料的弹性模量都接近牙釉质,弹性模量过大过小均不适用于髓腔固位冠。所以虽然Chen和Zhu得出了相反的结论,但是其结论对临床的指导是一致的。Zarone等^[18]也得出类似的结论,认为力学性能接近健康牙体组织的材料更适合制作口腔修复体,也有一些学者认为应用弹性模量接近牙本质的树脂基材料能减少根折^[19]。因此,如何根据牙体缺损情况选择适合的材料是需要考虑的问题,当剩余牙体组织有足够抗折性的前提下,弹性模量较大的氧化锆可能也是髓腔固位冠的一种选择。

与传统桩核冠、嵌体、高嵌体等修复体相比,髓腔固位冠是否具有类似甚至更优的机械强度也有不少学者进行了研究。de Kuijper等^[28]的研究显示,使用玻璃陶瓷制作的髓腔固位冠具有桩核冠类似的断裂强度。Atash等^[29]也发现,相较于桩核冠,髓腔固位冠有更好的断裂强度且并没有发生更多不可再修复的失败情况。Kassis等^[30]通过体外实验对比了树脂基陶瓷CEREMART制作的近中面-殆面-远中面(mesio-occlusal-distal, MOD)洞形嵌体、高嵌体和髓腔固位冠的抗折性,结果显示髓腔固位冠抗折强度大于嵌体和高嵌体。因此,当牙冠高度过短(小于4 mm)、近远中均有缺损时可以考虑使用髓腔固位冠代替传统全冠、嵌体、桩核冠等。

上述研究结论基本一致:口腔常用陶瓷材料制作的髓腔固位冠具有足够强度来抵抗人正常咀嚼所产生的力。但上述文献对是否确定某类陶瓷材料更适合制作髓腔固位冠并未达到共识,一般认为弹性模量接近正常牙体组织的材料可能具有更好的机械强度。尽管髓腔固位冠也出现了根折的结果,但是根折发生时所需要的力远远大于生理载荷。虽然大多数文献结果认为弹性模量远高于牙体组织的氧化锆不适合髓腔固位冠的制作,然而釉锆作为一种新型氧化锆材料,与传统氧化锆有相似的弹性模量(210 GPa),且美观性更佳,且与髓腔固位冠一样适合于咬合空间不足的短冠患者,有望对其进行改进并在髓腔固位冠制作中展现优势^[25,31]。

2.2 牙体预备对冠机械强度的影响

牙体预备方式是髓腔固位冠机械强度的又一影响因素,髓腔固位冠类型、髓腔固位深度、髓腔洞形轴壁外展度以及殆面厚度均会影响髓腔固位冠的机械强度。

2.2.1 髓腔固位冠类型 文献中常用的髓腔固位

冠牙体预备方式主要有两种——平面对接型和包绕型。Einhorn等^[32]研究发现,当髓腔固位冠牙体预备时留有一个小的轴壁(即包绕型)较标准型(平面对接型)可以承受更大的失败载荷,但是在粘接之后这两者没有明显的统计学差异。Taha等^[33]也认为包绕型能提供更大的抗折强度。Clausson等^[34]进行了更深一步的研究,结果显示髓腔内进行树脂核预先填充的髓腔固位冠的抗折强度较未填充大,但结果没有统计学差异。Rocca等^[10]则不推荐使用没有核的髓腔固位冠——因为缺乏固位型单纯靠粘接固位容易脱落,但采用这种方式制作的髓腔固位冠并非传统意义上髓腔固位冠,而更类似于殆贴面。总体而言,留有一个短的轴壁(文献推荐1 mm^[32])可以很好增加其抗折强度和固位作用,并且在正常咀嚼作用下这一类修复体也是较安全的。

2.2.2 髓腔固位深度 除了髓腔固位冠类型,也有研究比较髓腔固位深度对其抗折性的影响。Hayes等^[35]研究发现髓腔固位深度2 mm和4 mm的髓腔固位冠抗折强度要优于3 mm的,但3 mm及4 mm髓腔固位深度更易发生不可再修复的并发症,因此认为深度不应该超过2 mm。Dartora等^[36]对固位深度为1、3、5 mm的髓腔固位冠进行比较,结果显示,髓腔固位深度越深,具有更好的抗断裂强度、断裂模式以及更优的力学分布。由于现有文献较少,需要更多相关研究以得出一个最佳深度。另外,Pedrollo等^[37]认为与玻璃陶瓷相比,树脂基陶瓷更适合浅的髓腔固位型。

2.2.3 髓腔洞形轴壁外展度 Tribst等^[38]就髓腔固位冠内髓腔固位型的轴壁外展度(轴壁与牙长轴所成角度)对载力情况下的修复体及牙体组织应力分布进行了三维有限元分析,得出外展度越大,应力高峰越容易出现在修复体和牙体组织上,反之应力高峰容易出现在粘接面。因此在外展度为0°、6°、12°、18°这四组中,推荐6°和12°的外展度,使其力学分布更平衡。

2.2.4 殆面厚度 林珍香等^[39]还探究了髓腔固位冠的殆面厚度对其抗折性的影响,得出4 mm的殆面厚度抗折力大于2 mm,但基牙折裂概率也增加。Turkistani等^[40]比较了殆面厚度为3、4.5、6 mm的二硅酸锂陶瓷髓腔固位冠的断裂强度和断裂模式,得出3 mm组能承受更大的抗折力的结论,但每组都存在>80%的根折率。Zhu等^[27]认为应尽量减少髓腔固位冠的殆面厚度,虽然这在一定程

度上增加了其脱位风险,但是对于保护牙体是有利的。

3 结论和展望

虽然髓腔固位冠依然存在根折的风险,但很多研究都证实了其在患牙根管治疗后修复中的价值——可以承受正常的咀嚼力,边缘密合性也能达到临床标准。在髓腔固位冠牙体预备过程中,应该遵守组织保存原则,在条件允许情况下尽可能保留健康牙体组织。二硅酸锂陶瓷在髓腔固位冠修复中显示了其优越性,磨牙区咬合力可高达400~800 N,一般认为用于后牙修复体的陶瓷材料抗弯强度应达到800 MPa以上,而二硅酸锂陶瓷弯曲强度约460~650 MPa,树脂基陶瓷弯曲强度仅为200~300 MPa^[41],从理论上来说依然存在较大概率修复体破裂的风险。传统氧化锆能达到后牙修复所要求的超过800 MPa的强度,但其制作的髓腔固位冠可能具有相对略高的根折风险;釉瓷等新型氧化锆材料制作髓腔固位冠方面的研究尚不多,如何凭借其优势对其进行不断改良以降低氧化锆髓腔固位冠修复失败后的根折风险需要进一步的研究。

【Author contributions】 Wang JQ study literature and wrote the review. He H designed, revised and is responsible for the article. Wang Y, Deng XT and Sun MJ collected the references. Liu XC cared the speciality. Chen Y amended the review. All authors contributed to the article and approved the submitted version.

参考文献

- [1] Belleflamme MM, Geerts SO, Louwette MM, et al. No post-no core approach to restore severely damaged posterior teeth: an up to 10-year retrospective study of documented endocrown cases[J]. J Dent, 2017, 63: 1-7. doi: 10.1016/j.jdent.2017.04.009.
- [2] El Ghouli W, Özcan M, Silwadi M, et al. Fracture resistance and failure modes of endocrowns manufactured with different CAD/CAM materials under axial and lateral loading[J]. J Esthet Restor Dent, 2019, 31(4): 378-387. doi: 10.1111/jerd.12486.
- [3] Saratti CM, Rocca GT, Durual S, et al. Fractography of clinical failures of indirect resin composite endocrown and overlay restorations[J]. Dent Mater, 2021, 37(6): e341-e359. doi: 10.1016/j.dental.2021.02.002.
- [4] Mclean JW, Von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an *in vivo* technique[J]. Br Dent J, 1971, 131(3): 107-111. doi: 10.1038/sj.bdj.4802708.
- [5] Zimmermann M, Valcanaia A, Neiva G, et al. Three-dimensional digital evaluation of the fit of endocrowns fabricated from different CAD/CAM materials[J]. J Prosthodont, 2019, 28(2): e504-e509. doi: 10.1111/jopr.12770.
- [6] El Ghouli WA, Özcan M, Ounsi H, et al. Effect of different CAD-CAM materials on the marginal and internal adaptation of endocrown restorations: an *in vitro* study[J]. J Prosthet Dent, 2020, 123(1): 128-134. doi: 10.1016/j.prosdent.2018.10.024.
- [7] Taha D, Spintzyk S, Sabet A, et al. Assessment of marginal adaptation and fracture resistance of endocrown restorations utilizing different machinable blocks subjected to thermomechanical aging[J]. J Esthet Restor Dent, 2018, 30(4): 319-328. doi: 10.1111/jerd.12396.
- [8] Hasanzade M, Sahebi M, Zarrati S, et al. Comparative evaluation of the internal and marginal adaptations of CAD/CAM endocrowns and crowns fabricated from three different materials[J]. Int J Prosthodont, 2021, 34(3): 341-347. doi: 10.11607/ijp.6389.
- [9] Ghajghouj O, Taşar-Faruk S. Evaluation of fracture resistance and microleakage of endocrowns with different intracoronary depths and restorative materials luted with various resin cements[J]. Materials, 2019, 12(16): 2528. doi: 10.3390/ma12162528.
- [10] Rocca GT, Daher R, Saratti CM, et al. Restoration of severely damaged endodontically treated premolars: the influence of the endocore length on marginal integrity and fatigue resistance of lithium disilicate CAD-CAM ceramic endocrowns[J]. J Dent, 2018, 68: 41-50. doi: 10.1016/j.jdent.2017.10.011.
- [11] Shin Y, Park S, Park JW, et al. Evaluation of the marginal and internal discrepancies of CAD-CAM endocrowns with different cavity depths: an *in vitro* study[J]. J Prosthet Dent, 2017, 117(1): 109-115. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.03.025.
- [12] Gurpinar B, Tak O. Effect of pulp chamber depth on the accuracy of endocrown scans made with different intraoral scanners *versus* an industrial scanner: an *in vitro* study[J]. J Prosthet Dent, 2020: S0022-3913(20)30617. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.08.034.
- [13] Topkara C, Keles A. Examining the adaptation of modified endocrowns prepared with CAD-CAM in maxillary and mandibular molars: a microcomputed tomography study[J]. J Prosthet Dent, 2021: S0022-3913(20)30762. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.12.003.
- [14] Falahchai M, Babaei HY, Neshandar AH, et al. Marginal gap of monolithic zirconia endocrowns fabricated by using digital scanning and conventional impressions[J]. J Prosthet Dent, 2021, 125(2): 325.e1-325.e5. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.05.042.
- [15] Darwish HA, Morsi TS, Dimeery A. Internal fit of lithium disilicate and resin nano-ceramic endocrowns with different preparation designs[J]. Future Dent J, 2017, 3(2): 67-72. doi: 10.1016/j.fdj.2017.05.001.
- [16] Rocca GT, Saratti CM, Poncet A, et al. The influence of FRCs reinforcement on marginal adaptation of CAD/CAM composite resin endocrowns after simulated fatigue loading[J]. Odontology, 2016, 104(2): 220-232. doi: 10.1007/s10266-015-0202-9.
- [17] Chen BW, Ma YZ, Wu KX, et al. Influence of various materials on biomechanical behavior of endocrown-restored, endodontically-treated mandibular first molar: a 3D-finite element analysis[J]. J Wuhan Univ Technol Mater Sci Ed, 2015, 30(3): 643-648. doi: 10.1007/s11595-015-1204-8.
- [18] Zarone F, Sorrentino R, Apicella D, et al. Evaluation of the biomechanical behavior of maxillary central incisors restored by means of endocrowns compared to a natural tooth: a 3D static linear finite

- elements analysis[J]. Dent Mater, 2006, 22(11): 1035-1044. doi: 10.1016/j.dental.2005.11.034.
- [19] Zheng Z, He Y, Ruan W, et al. Biomechanical behavior of endocrown restorations with different CAD-CAM materials: a 3D finite element and *in vitro* analysis[J]. J Prosthet Dent, 2021, 125(6): 890-899. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.03.009.
- [20] Helal MA, Wang Z. Biomechanical assessment of restored mandibular molar by endocrown in comparison to a glass fiber post-retained conventional crown: 3D finite element analysis[J]. J Prosthodont, 2019, 28(9): 988-996. doi: 10.1111/jopr.12690.
- [21] Gulec L, Ulusoy N. Effect of endocrown restorations with different CAD/CAM materials: 3D finite element and Weibull analyses[J]. Biomed Res Int, 2017: 5638683. doi: 10.1155/2017/5638683.
- [22] Dejak B, Motkowski A. Strength comparison of anterior teeth restored with ceramic endocrowns vs custom-made post and cores[J]. J Prosthodont Res, 2017, 62(2): 171-176. doi: 10.1016/j.jpor.2017.08.005.
- [23] Li X, Kang T, Zhan D, et al. Biomechanical behavior of endocrowns vs fiber post-core-crown vs cast post-core-crown for the restoration of maxillary central incisors with 1 mm and 2 mm ferrule height: a 3D static linear finite element analysis[J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(43): e22648. doi: 10.1097/MD.00000000000022648.
- [24] Tribst J, Borges A, Silva-Concilio LR, et al. Effect of restorative material on mechanical response of provisional endocrowns: a 3D-FEA study[J]. Materials (Basel), 2021, 14(3): 649. doi: 10.3390/ma14030649.
- [25] Zhang Y, Kelly JR. Dental ceramics for restoration and metal veneering[J]. Dent Clin North Am, 2017, 61(4): 797-819. doi: 10.1016/j.cden.2017.06.005.
- [26] Aktas G, Yerlikaya H, Akca K. Mechanical failure of endocrowns manufactured with different ceramic materials: an *in vitro* biomechanical study[J]. J Prosthodont, 2018, 27(4): 340-346. doi: 10.1111/jopr.12499.
- [27] Zhu J, Rong Q, Wang X, et al. Influence of remaining tooth structure and restorative material type on stress distribution in endodontically treated maxillary premolars: a finite element analysis [J]. J Prosthet Dent, 2017, 117(5): 646-655. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.08.023.
- [28] de Kuijper M, Gresnigt M, van den Houten M, et al. Fracture strength of various types of large direct composite and indirect glass ceramic restorations[J]. Oper Dent, 2019, 44(4): 433-442. doi: 10.2341/18-111-L.
- [29] Atash R, Arab M, Duterme H, et al. Comparison of resistance to fracture between three types of permanent restorations subjected to shear force: an *in vitro* study[J]. J Indian Prosthodont Soc, 2017, 17(3): 239-249. doi: 10.4103/jips.jips_24_17.
- [30] Kassis C, Khoury P, Mehanna CZ, et al. Effect of inlays, onlays and endocrown cavity design preparation on fracture resistance and fracture mode of endodontically treated teeth: an *in vitro* study [J]. J Prosthodont, 2021, 30(7): 625-631. doi: 10.1111/jopr.13294.
- [31] 黄江勇, 李婵秀, 钟梅, 等. 釉瓷全瓷冠在低殆龈距离 Bicon 种植修复中的应用探讨[J]. 分子影像学杂志, 2018, 41(4): 444-447. doi: 10.12122/j.issn.1674-4500.2018.04.06.
- Huang JY, Li CX, Zhong M, et al. Application of the self-glazed zirconia crown for Bicon implant restoration at limited interocclusal space[J]. J Mol Imag, 2018, 41(4): 444-447. doi: 10.12122/j.issn.1674-4500.2018.04.06.
- [32] Einhorn M, DuVall N, Wajdowicz M, et al. Preparation ferrule design effect on endocrown failure resistance[J]. J Prosthodont, 2019, 28(1): e237-e242. doi: 10.1111/jopr.12671.
- [33] Taha D, Spintzyk S, Schille C, et al. Fracture resistance and failure modes of polymer infiltrated ceramic endocrown restorations with variations in margin design and occlusal thickness[J]. J Prosthodont Res, 2018, 62(3): 293-297. doi: 10.1016/j.jpor.2017.11.003.
- [34] Clausson C, Schroeder CC, Goloni PV, et al. Fracture resistance of CAD/CAM lithium disilicate of endodontically treated mandibular damaged molars based on different preparation designs[J]. Int J Biomater, 2019: 2475297. doi: 10.1155/2019/2475297.
- [35] Hayes A, Duvall N, Wajdowicz M, et al. Effect of endocrown pulp chamber extension depth on molar fracture resistance[J]. Oper Dent, 2017, 42(3): 327-334. doi: 10.2341/16-097-L.
- [36] Dartora NR, de Conto Ferreira MB, Moris ICM, et al. Effect of intracoronal depth of teeth restored with endocrowns on fracture resistance: *in vitro* and 3-dimensional finite element analysis[J]. J Endod, 2018, 44(7): 1179-1185. doi: 10.1016/j.joen.2018.04.008.
- [37] Pedrollo LD, Van EA, De Munck J, et al. Biomechanical behavior of endodontically treated premolars using different preparation designs and CAD/CAM materials[J]. J Dent, 2017, 59: 54-61. doi: 10.1016/j.jdent.2017.02.007.
- [38] Tribst JM, Giudice RL, Santos AD, et al. Lithium disilicate ceramic endocrown biomechanical response according to different pulp chamber extension angles and filling materials[J]. Materials, 2021, 14(5): 1307. doi: 10.3390/ma14051307.
- [39] 林珍香, 潘在兴, 叶起清, 等. 二硅酸锂陶瓷和氧化锆髓腔固位冠的殆面厚度设计对抗折性能的影响[J]. 华西口腔医学杂志, 2020, 38(6): 50-54. doi: 10.7518/hxkq.2020.06.007. doi: 10.7518/hxkq.2020.06.007.
- Lin ZX, Pan ZX, Ye QQ, et al. Effect of occlusal thickness design on the fracture resistance of endocrowns restored with lithium disilicate ceramic and zirconia[J]. West Chin J Stomatol, 2020, 38(6): 50-54. doi: 10.7518/hxkq.2020.06.007.
- [40] Turkistani AA, Dimashkieh M, Rayyan M. Fracture resistance of teeth restored with endocrowns: an *in vitro* study[J]. J Esthet Restor Dent, 2020, 32(4): 389-394. doi: 10.1111/jerd.12549.
- [41] Wendler M, Belli R, Petschelt A, et al. Chairside CAD/CAM materials. Part 2: flexural strength testing[J]. Dent Mater, 2017, 33(1): 99-109. doi: 10.1016/j.dental.2016.10.008.

(编辑 张琳)



官网