

# 有限元分析法在全瓷修复领域的研究进展\*

韩晓辉 综述 牟月照\*\* 审校

(山东大学山东省立医院口腔科 山东 济南 250021)

[摘要] 有限元分析法是口腔生物力学研究的有效方法,利用该法了解全瓷修复体在功能状态下的应力分布并为其优化设计提供理论依据是近年来的研究热点。本文就有限元分析法在全瓷修复领域的研究进展作一综述。

[关键词] 有限元分析法,修复体,全瓷,生物力学

[中图分类号] R783.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1003-1634(2006)08-0505-02

有限元分析法(finite element analysis, FEA)属结构力学分析中的数值法。其基本原理是将组织结构离散成许多小单元,通过分析单元的变化,来反映整体的变化。自 1973 年几乎同时将 FEA 引用到口腔医学领域以来,FEA 已成为一种有效的数学工具并在口腔生物力学研究中得到广泛应用。

全瓷修复体脆性大,限制了它的应用。因此,了解其在功能状态下的应力分布,为其优化设计提供理论依据显得尤为重要。本文就近年来 FEA 在全瓷修复领域的研究进展作一综述。

## 1. 有限元分析法对瓷嵌体的研究

Peters MC 等用 FEA 通过对 MOD 洞型瓷嵌体修复的研究发现,载荷作用下瓷嵌体的裂纹开始于加载处嵌体内表面的轴髓线角处,开始时裂纹在临床上没法从嵌体外表面检查出来,而且内表面的裂纹在瓷嵌体受到自身全部碎裂所需载荷的 55%~60% 时就已经开始<sup>[1]</sup>。Abu-Hassan MI 等通过对肩台型、凹面型、斜坡型三种不同形态边缘设计的全瓷高嵌体,在不同方向载荷作用下的 3D-FEA 应力分析发现,水平作用力可以使修复体产生最大张应力,垂直作用下在凹面型和斜坡型边缘形态设计高嵌体的边缘区产生较大的张应力<sup>[2]</sup>。Pietro Ausiello 等采用 3D-FEA 研究了 MOD 洞型分别用玻璃陶瓷嵌体和复合树脂嵌体修复,玻璃陶瓷嵌体在分散应力方面的表现不如复合树脂嵌体,使用高杨氏模量粘结剂粘结的玻璃陶瓷嵌体不能使应力在洞型内得到适当的重新分布,而复合树脂嵌体却能做到这一点<sup>[3]</sup>。Chun-Li Lin 等用 3D-FEA 研究上颌第二前磨牙标准 MODL 大面积缺损嵌体修复,有辅助固位槽沟设计能够增加修复体与牙体之间的固位力,应用于经常受到侧向咬合力的前磨牙<sup>[4]</sup>。

## 2. 有限元分析法对瓷贴面的研究

于海洋等用 3D-FEA 分析瓷贴面厚度对 I 型(开窗型)、II 型(对接型)、III 型(包绕型)瓷贴面复合体应力分布的影响发

现:I 型、II 型瓷贴面厚度改变时瓷贴面复合体应力值变化不大。但 III 型瓷贴面复合体薄型贴面较厚型贴面应力值低 44%,主要原因为薄型贴面牙体预备量少,牙体抗力好,且 III 型贴面牙体为间接受力,因此建议 III 型贴面应用包绕型薄贴面更有助于牙体保护<sup>[5]</sup>。于海洋等还应用 3D-FEA 比较了粘固层厚度变化对贴面复合体应力分布及位移的影响。Seymour KG 等用 FEA 分析唇侧开窗型和切端包绕型瓷贴面,边缘分别为凹型、直角型和刃状设计时,使用切端包绕型设计,唇侧边缘设计为刃状型可以更好地承受咬合力,防止修复体折裂<sup>[6]</sup>。胡晓阳等在应用 3D-FEA 分析切端包绕型和切端对接型瓷贴面在正常覆殆、对刃殆、深覆殆载荷下的应力分布时发现:正常覆殆载荷下,切端包绕型瓷贴面的应力值明显低于切端对接型,切端对接型瓷贴面的颈部内侧出现一高应力区,对刃殆载荷下二者应力值接近,深覆殆载荷下切端对接型瓷贴面的应力值较切端包绕型低<sup>[7]</sup>。

## 3. 有限元分析法对全瓷桩核的研究

翁维民等用 3D-FEA 对铸造玻璃陶瓷桩核冠与铸造金属烤瓷桩核冠两种不同材质的桩核冠系统在相同载荷下各组成部分的应力分布差异以及形变进行了生物力学分析,结果发现:桩核的材质对牙体应力的分布有影响,相同载荷作用下,铸造玻璃陶瓷桩核冠对上中切牙牙本质产生的应力及整体形变稍大,铸造金属烤瓷桩核冠的桩核部分应力稍大;两者的牙骨质、牙周膜和牙槽骨应力相差很小;外冠是否存在对计算结果影响很大。并建议尽量采用弹性模量较大的材料来制作桩核,而且认为用 3D-FEA 对桩核冠进行的应力分析时不能省略外冠<sup>[8]</sup>。Asmussen E 等用 3D-FEA 对材料(玻璃纤维桩、钛桩、氧化锆桩)形态(锥形桩、平行桩)粘结条件、弹性模量、直径、长度等不同的桩核冠,在载荷作用下的应力分析指出:所产生的应力:

\* 基金项目:山东省自然科学基金资助项目(Y2002C03)

\*\* 通讯作者:牟月照

periodontal diseases[J]. Journal of Periodontology, 2000, 71(7):1057-66.

[7] Nishida M, Grossi SG, Dunford RG, et al. Dietary vitamin C and the risk for periodontal diseases[J]. Journal of Periodontology, 2000, 71(8):1215-1223.

[8] Parrish JH Jr, Demarco TJ, Bissada NF. Vitamin E and periodontitis in the rat[J]. Oral Surgery, Oral Medicine, and oral Pathology,

1977, 44(2):210-218.

[9] Vogel RI, Fink RA, Schneider LC, et al. The effect of folic acid on gingival health[J]. Journal of Periodontology, 1976, 47(11):667-668.

[10] Vogel RI, Fink RA, Frank O, et al. The effect of topical application of folic acid on gingival health[J]. Journal of Oral Medicine, 1978, 33(1):22-23.

收稿日期:2005-08-05

玻璃纤维桩 > 钛桩 > 氧化锆桩 锥形桩 > 平行桩 通过粘固、弹性模量的增加、直径的增加、长度的增加, 应力会有所降低<sup>[9]</sup>。

#### 4. 有限元分析法对全瓷冠的研究

Hojjat B 等用 3D-FEA 研究了加载方向和骀面瓷厚度不同对全瓷冠在载荷作用下的应力分布的影响 加载方向比骀面瓷厚度在产生较大张应力方面有着更为重要的影响<sup>[10]</sup>。赵云凤等采用 3D-FEA 分析上中切牙铸造陶瓷全冠不同颈缘形态的应力分布规律, 发现瓷冠唇、舌侧颈缘有张应力、压应力集中, 瓷冠表面应力 > 冠内应力 > 制备体应力; 台肩型较凹面型陶瓷冠的应力值小。建议临床制备陶瓷全冠时设计为台肩型, 冠颈缘厚度应在 0.5~1.0 mm 之间<sup>[11]</sup>。程碧焕等用 3D-FEA 分析了不同骀面厚度(1.0 mm, 1.5 mm 和 2.0 mm)设计的下颌第一磨牙全瓷冠受载时的应力状况指出: 全瓷冠受载时产生的张应力及剪切应力因其骀面厚度不同而有差异, 当骀面厚度为 1.0 mm 时, 应力值最大。Dianne Rekow 等在 FEA 的辅助下, 通过设计可能影响全瓷冠修复系统应力情况的 7 个因素(全瓷冠的材料、厚度、牙尖斜度、粘剂类型、厚度、支持组织的性质、加载点)的两个水平实验, 同样大小载荷下, 全瓷冠的材料和厚度是影响应力大小的首要因素, 其他因素也会影响到应力的大小<sup>[12]</sup>。

#### 5. 有限元分析法对全瓷固定桥的研究

Hino T 通过对材料(DICOR, BIORAM-C, OPTEC, 和 HICERAM), 加载点、内核材料、连接体的设计等不同因素改变下的前牙冠和桥的碎裂载荷试验和 3D 有限元应力分析发现: DICOR 桥的强度明显优于 BIORAM-C 桥, 冠和桥的碎裂均发生在张应力集中区。在任何加载点加载, 全瓷桥的张应力主要集中在连接体区域, 而且随着全瓷桥材料杨氏模量的增加, 应力有略微的提高。另外, 增加连接区域的面积可以明显降低连接体区域的张应力<sup>[13]</sup>。Pospiech P 等通过对树脂粘固 In-Ceram 三单位固定桥分别在 250 N 斜向加载模拟咬合的 3DFEA 分析得出: 小的连接体和大的外展隙会明显使连接体的应力增加, 所以建议全瓷桥连接体至少要保证有 4 mm 的高度, 而且外展隙的内角要尽量圆钝<sup>[14]</sup>。Oh W 等用 3D-FEA 对连接体龈外展隙曲率半径分别为 0.45 mm 和 0.25 mm 设计的三单位全瓷固定桥在载荷作用下的应力分布进行研究。发现在桥体中央窝受载荷时, 最大压应力集中在连接体骀外展隙处而最大张应力集中在龈外展隙的中央和稍偏颊侧处, 连接体龈外展隙曲率半径小者会使龈外展隙处的最大张应力更高一些, 从而得出全瓷固定桥龈外展隙曲率半径会明显影响全瓷固定桥抗碎裂能力的结论<sup>[15]</sup>。H Fischer 等在 3D-FEA 帮助下, 运用现代计算机技术和相关理论对 4 种全瓷材料(Empress 1, Empress 2, In-Ceram Alumina ZrO<sub>2</sub>)不同设计的后牙三单位固定桥的寿命进行估计: ZrO<sub>2</sub> 全瓷桥具有长久可靠性, Empress 1 和 In-Ceram Alumina 瓷材料不适合制作后牙全瓷桥, 通过改善连接体区域

的设计可以延长全瓷固定桥的寿命<sup>[16]</sup>。

### [参 考 文 献]

[1] Peters MC, de Vree JH, Brekelmans WA. Distributed crack analysis of ceramic inlays[J]. J Dent Res. 1993, 72(11):1537-42.

[2] Abu-Hassan MI, Abu-Hammad OA, Harrison A. Stress distribution associated with loaded ceramic onlay restorations with different designs of marginal preparation. An FEA study[J]. J Oral Rehabil, 2000, 27(4):294-298.

[3] Pietro Ausiello, Sandro Rengo, Carel L. Davidson, et al. Stress distributions in adhesively cemented ceramic and resin-composite Class II inlay restorations: a 3D-FEA study[J]. Dent Mater, 2004, 20(9):862-872.

[4] Chun-Li Lin, Yen-Hsiang Chang, Wen-Jen Chang, et al. Evaluation of a reinforced slot design for CEREC system to restore extensively compromised premolar[J]. J Dent, 2006, 34(3):221-229.

[5] 于海洋, 杜传诗, 巢永烈. 三维有限元分析瓷贴面厚度对三型瓷贴面复合体应力分布的影响[J]. 华西口腔医学杂志, 1998, 16(4):365-367.

[6] Seymour KG, Cherukara GP, Samarawickrama DY. Stresses within porcelain veneers and the composite lute using different preparation designs[J]. J Prosthodont, 2001, 10(1):16-21.

[7] 胡晓阳, 邓旭亮, 王 威. 不同切端设计类型瓷贴面的三维有限元应力分析[J]. 现代口腔医学杂志, 2004, 18(6):510-512.

[8] 翁维民, 李 玲, 张富强, 等. 不同材料桩核冠系统修复上中切牙后的三维有限元分析[J]. 口腔材料器械杂志, 2004, 13(2):79-82.

[9] Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A. Finite element analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth[J]. J Prosthet Dent, 2005, 94(4):321-329.

[10] Hojjat B, Anusavice KJ. Three-dimensional finite element analysis of glass-ceramic dental crowns[J]. J Biomech, 1990, 23(11):1157-66.

[11] 赵云凤, 程碧焕, 高 宁, 等. 上中切牙铸造陶瓷全冠三维有限元分析[J]. 现代口腔医学杂志, 1999, 13(4):251-252.

[12] Rekow ED, Harsono M, Janal M, et al. Factorial analysis of variables influencing stress in all-ceramic crowns[J]. Dent Mater, 2006, 22(2):125-132.

[13] Hino T. A mechanical study on new ceramic crowns and bridges for clinical use[J]. Osaka Daigaku Shigaku Zasshi, 1990, 35(1):240-267.

[14] Pospiech P, Rammelsberg P, Goldhofer G, et al. All-ceramic resin-bonded bridges. A 3-dimensional finite-element analysis study[J]. Eur J Oral Sci, 1996, 104(4):390-395.

[15] Oh W, Gotzen N, Anusavice KJ. Influence of connector design on fracture probability of ceramic fixed-partial dentures[J]. J Dent Res, 2002, 81(9):623-627.

[16] H Fischer, M Weber, R Marx. Lifetime Prediction of All-ceramic Bridges by Computational Method[J]. J Dent Res, 2003, 82(3):238-242.

收稿日期 2006-03-03