

三维有限元法在牙列缺损修复中的应用

程林综述 何惠宇审校

(新疆医科大学第一附属医院口腔修复科 乌鲁木齐 830054)

[摘要] 三维有限元法是一种应用在不同领域的理论力学分析方法,自从被引入牙列缺损修复领域以来,通过计算机模拟的方式,能够较准确地计算出修复体在每个区域内的受力情况,具有误差小、参数可设定等优点,表现出了其他应力实验分析方法所不可比拟的优越性,从而越来越多的应用到修复体对力反应的模拟和预测之中。本文将就近年来三维有限元法应用在牙列缺损修复中各种固定修复体、活动修复体、固定-活动联合修复体、种植体的应力分析等方面的研究状况进行综述。

[关键词] 三维有限元法; 修复; 生物力学

[中图分类号] R 783.4 [文献标志码] A [doi] 10.3969/j.issn.1673-5749.2012.02.027

Three-dimensional finite element method in restoration of dentition defect Cheng Lin, He Huiyu. (Dept. of Prosthodontics, The First Affiliated Hospital, Xinjiang Medical University, Urumqi 830054, China)

[Abstract] Three-dimensional finite element method is a method applied in many fields of theoretical mechanics analysis. It is introduced since the inception of dentition defect, through computer simulations, it can be more precisely calculate the prosthesis to the force within each region condition with a small error and be set of parameters, etc., showing a stress test analysis of other advantages are unparalleled, so more and more applications to the restoration of the force response simulation and forecasts. The three-dimensional finite element method have been applied in a variety of fixed dentition defect restoration, restoration activities, fixed-activities joint retainers, implant stress analysis and other aspects of the situation in recent years will be reviewed in this article.

[Key words] three-dimensional finite element method; restoration; biomechanical

应用三维有限元法的应力分析是生物力学研究中的重要手段之一。它可对复杂几何形状的物体建模,求得整体和局部的应力、位移值及其分布规律,并可根据需要改变受载和边界条件等力学参数,在维持原模型几何形状不变的情况下,还可方便地对其应力大小和分布变化进行对比分析。该方法高效、精确、成本低,已成为结构优化设计、材料非线性和几何非线性分析的一种方便、有效、实用的应力分析方法。三维有限元法的优点是适用于条件复杂的牙、牙周膜、口腔修复体等。其局限为结论只能是一个近似值,只有单元数目接近无限时其求解结果可接近真实值;单元划分的大小、形状、载荷情况、边界条件等均会影响该法最终的结果;对于具有非均质、非线性和各项异性的材料则增加了有限元分析的

应用难度。

中国于1982年将三维有限元法用于研究口腔生物力学领域的课题,目前在研究中已普遍地根据实物测量结果建立了牙齿和牙槽骨的三维有限元模型,计算了固定义齿修复、套筒冠修复、附着体修复、活动义齿修复、种植义齿修复等一系列问题,其计算结果与实验结果有较好的一致性,对科学研究和临床治疗都具有一定的实际意义。

1 活动义齿修复

可摘局部义齿结构比较复杂,设计类型多种多样,通过生物力学的研究,可达到优化义齿设计、保护支持组织、提高义齿质量等目的。范长斌等^[1]运用三维有限元法研究并比较了戴用分割式可摘局部义齿与普通可摘局部义齿在不同载荷下缺牙区黏膜的应力情况,结果发现:分割式可摘局部义齿有效地起到了保护基牙的作用。魏敏等^[2]应用三维有限元的方法,分析了在不同方向载荷下组合式可摘局部义齿基牙及其支持组织的

[收稿日期] 2010-12-14; [修回日期] 2011-11-30

[基金项目] 乌鲁木齐市科学技术计划基金资助项目(Y09131002)

[作者简介] 程林(1985—),男,吉林人,硕士

[通讯作者] 何惠宇, Tel: 13079998882

应力变化, 结果发现: 在不同方向载荷下, 基牙牙周膜在应力分布中变化不大, 但基托下的支持组织承受了大部分载荷, 并且随着载荷的变化应力分布有明显差异。该研究从生物力学角度证明了组合式可摘局部义齿在行使功能时, 利用上下 2 层支架的特殊设计可以分别承担义齿固位和承力两大功能。这样的设计既保护了基牙的健康, 又达到了良好的修复效果, 对牙周病伴牙列缺损的病例是一种理想的修复设计方案。

2 固定义齿修复

早在 20 世纪 70 年代中期, 国外便将三维有限元法应用于固定义齿修复的研究, 而在此方面的研究工作国内则始于 20 世纪 80 年代。马达等^[3]用三维有限元法分析动态载荷下下颌前牙固定桥修复前、后基牙牙周膜的应力和应变分布规律, 结果发现: 其在动态载荷与静态载荷下基本相同, 但大小明显降低。牙周膜的应力分布和大小具有时间依赖性, 牙周膜残余应力的大小与加载量及加载方向有关, 加载方向是影响牙周膜应力分布、应力累积和应力释放的重要因素。王桥等^[4]研究了下颌第二前磨牙和第一磨牙缺失的两基牙双端固定桥修复的应力分布, 结果发现: 当基牙牙槽骨无吸收时, 固定桥两基牙应力分布均匀; 当基牙牙槽骨有轻度吸收(大于 10%)时, 固定桥两基牙即开始出现应力集中。魏斌等^[5]在 POWERSHAPE 及 ANSYS 软件的帮助下, 建立了右下第一磨牙缺失及局部固定义齿的三维有限元模型。模拟第二前磨牙 Ⅰ度松动, 观察并对照 3 个实验固定桥模型中基牙应力的变化以及最大应力值的部位和大小, 结果发现: 模型一和模型二的最大应力均出现在第二前磨牙处, 模型三的最大应力出现在第一前磨牙处。从而得出了在松动基牙侧增加基牙数目, 可以有效改善固定桥支持组织的应力分布的结论。丁旭等^[6]探讨并建立了下颌单侧后牙游离端缺失种植固定义齿的三维有限元模型, 结果发现: 将 ATOS 流动式光学扫描仪技术、数字图像处理技术与一系列计算机软件相结合建立三维有限元模型的方法是有效、可行的, 并可在一定程度上提高模型的仿真性和建模的高效性。

3 套筒冠义齿修复

套筒冠义齿在国外有 40 余年临床应用的历史, 是指以套筒冠为固位体的活动义齿。套筒冠

固位体由内冠和外冠组成, 冠粘接在基牙上, 冠和活动义齿连成整体, 通过内冠和外冠之间的嵌合作用产生固位力。Ogata 等^[7]运用三维有限元法研究弹性下颌游离鞍基套筒冠义齿对基牙的影响以及配合使用间接固位体的效果后发现: 套筒冠义齿选用多颗基牙可起到夹板固定的作用, 较选用单颗基牙更有利于基牙牙周组织的健康, 若同时设计间接固位体可大大减少基牙和远中游离鞍基的位移。Güngör 等^[8]为了确定由松动外冠对牙齿和周围组织产生的应力, 运用有限元法研究了由不同大小(4、5、6 mm)和锥度(0°、2°、4°、6°)的锥形套筒冠产生的分布在固位体和周围组织上的应力, 将由拉力或张力得到的应力值进行评估, 结果发现: 作用在冠颈部金属区域的拉力较张力所产生的最大应力更为显著。李萌等^[9]为了研究下颌前牙缺失后套筒冠烤瓷桥生物力学的特性, 利用 CT 扫描技术、数字图像技术和三维有限元的方法成功建立出了与实际情况近似的下颌前牙缺失后套筒冠修复的三维有限元模型, 为进一步模拟、细化套筒冠修复缺失牙的三维有限元模型提供了方法和基础, 同时也为口腔生物力学的研究提供了有效途径。

4 固定-活动联合固位体修复

近年来, 随着人们对修复体美观、咀嚼和牢固要求的日益提高, 越来越多地医生采用了固定-活动联合修复的方式。魏斌等^[10]通过调用正常牙列模型库中的数据编辑建立了双侧末端游离缺失的牙列模型, 又在固定义齿模型库和可摘局部义齿模型库中的数据基础上, 建立了套筒冠义齿及近中支托和远中支托的可摘局部义齿的三维有限元模型, 并对其进行三维有限元的力学分析和比较。结果发现: 套筒冠义齿的基牙牙根、牙周膜、牙槽黏膜和牙槽骨的应力分布均匀, 其牙根受力最大值明显小于其他 2 种可摘局部义齿设计。这就表明: 采用套筒冠设计修复双侧末端游离缺失的病例, 具有应力分布均匀、基牙受力较小的优点, 有利于基牙及其周围组织的健康。Barão 等^[11]运用三维有限元法比较了使用不同附着体系统的全口义齿、固定于种植体上的覆盖义齿的受力分布, 结果发现: O 形附着体相关的未固定的种植体在各组中显示出最低的最大应力值, 而且运用 O 形附着体系统也改善了运用条形附着体系统时的应力分布。

5 种植义齿修复

随着种植体的应用越来越广泛，种植体的生物力学研究也越来越受到学者们的重视，种植技术从种植材料的研制、种植体设计到种植与修复联合应用都得到了飞速发展。Olsson等^[12]观察了临床23例下颌肯氏Ⅱ类缺失的患者，双侧分别进行种植体支持的固定修复和天然牙-种植体联合支持的固定修复。经过5年的随访后发现：两者的桥体稳定性和双侧种植体骨边缘的改变均无明显差异。较种植体支持的固定修复，天然牙-种植体联合支持的修复方式并没有显示出高风险性。Yildirim等^[13]使用三维有限元法比较了氧化铝和氧化锆支持的IPS Empress全瓷冠的抗折强度和折裂模式，结果发现：氧化铝基台支持时，全瓷冠的折裂全部发生在基台。李智勇等^[14]采用三维有限元法分析了种植体支持的In-Ceram全瓷单冠在氧化铝、氧化锆全瓷基台和钛基台支持时种植体全瓷单冠各部位的应力分布情况，结果发现：不同基台支持下，种植体全瓷单冠各部位的应力分布基本类似，这一结果与体外关于全瓷基台抗折强度的实验结果一致。都吉秀等^[15]认为：对于后牙单冠缺失，可采用大直径的种植体，或者是双根单冠的种植修复方法，并测算出双根等长种植体聚合度为10°时，种植体周围组织应力分布最佳。

6 结束语

综上所述，随着三维有限元技术的发展和建模技术的不断提高，计算结果与实验结果有了较好的一致性，而这些研究使得人们对牙列缺损修复治疗的效果有了越来越深入的认识；同时，也在一定程度上促进了牙列缺损修复领域后续研究工作的开展实施以及临床实用技术的发展运用。三维有限元法在牙列缺损修复中的应用是先进而有效的，今后相信随着科学技术，尤其是计算机技术和影像学技术的发展，三维有限元法将得到更大的发展，其在牙列缺损修复领域中的应用也必将会更加广泛；在能更加真切地运用与指导临床实际工作的同时，也必将使得更多因牙列缺损需要修复治疗的患者从中受益匪浅。

7 参考文献

[1] 范长斌, 王敏, 罗云, 等. 分割式及普通可摘局部义齿

缺牙区黏膜的三维有限元分析[J]. 中华老年口腔医学杂志, 2007, 5(3): 162-164.

[2] 魏敏, 王敏, 林映荷, 等. 组合式可摘局部义齿支持组织的应力分布[J]. 华西口腔医学杂志, 2008, 26(4): 387-390, 395.

[3] 马达, 唐亮, 潘燕环. 动态载荷下下前牙固定桥基牙牙周膜的三维有限元法分析[J]. 华西口腔医学杂志, 2007, 25(6): 591-594.

[4] 王桥, 冯晓刚, 陈文归. 下颌56缺失两基牙双端固定桥修复的生物力学分析[J]. 中国医学物理学杂志, 2008, 25(2): 604-605, 617.

[5] 魏斌, 于力牛, 张富强. 基于松动牙作基牙的固定桥力学模型的建立与分析[J]. 口腔颌面修复学杂志, 2006, 7(4): 252-253.

[6] 丁旭, 孙应明, 丁加根, 等. 下颌单侧后牙游离端缺失种植固定桥三维有限元模型的建立[J]. 口腔颌面修复学杂志, 2009, 10(4): 200-203.

[7] Ogata K, Watanabe N. Longitudinal study on torque transmitted from denture base to an abutment tooth of lower distal-extension removable partial dentures with conus crown telescopic system[J]. J Oral Rehabil, 1993, 20(3): 341-348.

[8] Güngör MA, Artunç C, Sonugelen M, et al. The evaluation of the removal forces on the conus crowned telescopic prostheses with the finite element analysis(FEA)[J]. J Oral Rehabil, 2002, 29(11): 1069-1075.

[9] 李萌, 王慧媛, 张玉梅, 等. 套筒冠修复下颌前牙缺失的三维有限元模型的建立[J]. 牙体牙髓牙周病学杂志, 2007, 17(5): 262-265.

[10] 魏斌, 陈洁, 黄庆丰, 等. 套筒冠与卡环固位型义齿修复末端游离缺失的应力分布比较[J]. 上海交通大学学报:医学版, 2009, 29(11): 1288-1290.

[11] Barão VA, Assunção WG, Tabata LF, et al. Finite element analysis to compare complete denture and implant-retained overdentures with different attachment systems[J]. J Craniofac Surg, 2009, 20(4): 1066-1071.

[12] Olsson M, Gunne J, Astrand P, et al. Bridges supported by free-standing implants versus bridges supported by tooth and implant. A five-year prospective study[J]. Clin Oral Implants Res, 1995, 6(2): 114-121.

[13] Yildirim M, Fischer H, Marx R, et al. In vivo fracture resistance of implant-supported all-ceramic restorations[J]. J Prosthet Dent, 2003, 90(4): 325-331.

[14] 李智勇, 刘学军, 赵丽雅, 等. 不同基台时种植体支持全瓷单冠的应力分析[J]. 口腔医学研究, 2007, 23(4): 402-404.

[15] 都吉秀, 叶平, 吴润发, 等. 双根单冠种植修复下颌第一磨牙的三维有限元分析[J]. 中国口腔种植学杂志, 2008, 13(1): 1-5.

(本文编辑 王姝)