



## 口腔种植体中的生物力学

荣起国

(北京大学力学与工程科学系, 北京 100871)

**摘要** 介绍了口腔种植体的发展历史及基于骨结合理论基础上的现代口腔种植体所取得的巨大成绩, 概述了种植体设计及临床应用中遇到的生物力学问题, 包括种植体的载荷传导特点、种植体/颌骨系统的力学建模、种植体所引起的骨吸收等等, 指出了我国研发具有自主知识产权的种植体体系的重要性。

**关键词** 口腔种植体, 骨结合, 生物力学

所谓口腔种植体就是人工牙根, 通过外科手术被植入人体缺牙部位的颌骨内, 为其上面的义齿或金属支架等结构提供支撑。种植义齿修复后, 能全面恢复牙颌缺损病人的咀嚼、语言和美容等功能, 被誉为“人类第三副牙齿”。

与传统假牙相比, 种植义齿具有以下优点: 一是固位良好, 比传统假牙更稳固、牢靠; 二是种植体能够将功能载荷直接传递到颌骨内部, 使颌骨始终处于应力激励之中, 避免了颌骨由于废用所引起的严重吸收; 三是不需要像在传统部分缺牙镶装义齿时需对邻牙进行切割, 保护了邻牙; 四是基本完全恢复咀嚼功能和语言功能; 五是美观舒适, 无异物感, 对发音影响很小。

用人工材料替代由于疾病、外力损伤等原因失去的牙齿并不是什么创新的思想。早在几百年前, 甚至 1000 多年前人类就已经作过类似的尝试。古代埃及人曾在缺齿的颌骨部位开槽, 将贝壳做成楔形锤入。要知道那时候还没有麻醉剂, 可以想象手术的难度。不管人们是否相信, 科学家们认为贝壳确实起到了部分功能作用。此外, 考古学家在洪都拉斯发现一个前哥伦比亚人时期的头颅, 其上颌侧切牙位置上镶嵌着一颗黑色石头。由于这颗石头与邻近的牙齿有相同的牙石, 可以判定这颗石头已经被植入多年了。虽然它承担不了什么功能载荷, 但至少可以起到一定的美观作用。

在随后的近千年里, 这样的尝试断断续续, 所选用的材料从黄金到铅、铁、铍、铂、银等金属, 以后也用瓷、橡胶、宝石、象牙等, 但主要用作装饰物, 是一种工艺技术, 还无法完全实现自然牙的功能。但由于材料的生物相容性问题, 在种植体植入后引起了很多严重的问题, 因而没有取得实质的进展。

现代种植体(如图 1)的发展始于 20 世纪 30、40 年代, 得益于科学技术的发展, 特别是新材料的出现和应用, 如钴铬合金、钛、铝等。在美国, 叶片状种植体得到青睐和广泛临床应用。但由于基础研究不足, 20 世纪 50~60 年代种植义齿的失败率很高。1973 年, 国际卫生研究所和美国牙医学会经调查对种植义齿持否定态度, 牙种植的发展一度陷入



图 1 几种常见的种植体

低潮。

现代种植技术的另一学派来源于欧洲。在 20 世纪 60 年代, 瑞典医生 Brånemark 在研究中发现, 由纯钛制成的种植体可以与周围骨组织形成牢固、密切的结合, 而不会在其间形成任何结缔组织。种植体与周围骨组织的这种结合方式于 1969 年被命名为骨结合 (Osteointegration), 成为现代种植体技术的理论基础。第 1 颗 Brånemark 种植体于 1965 年被应用于临床, 35 年后这颗种植体还正常地工作着。1982 年在加拿大多伦多举行的“骨性结合种植牙”国际学术会议上, Brånemark 研究组发表的长期研究结果以无可辩驳的数据证实了口腔种植体的可靠性, 最终于 1989 年得到美国牙医学会的认可。从此, 口腔种植技术进入了蓬勃发展的新时期。

目前, 种植体的成功率已经达到 95% 以上。由于颌骨结构的差异, 上颌骨种植的成功率要比下颌骨低。种植体的失败主要表现为颌骨吸收、种植体松动、脱落以及无法完成设计功能等。临床观察和基础研究表明, 力学因素在种植体部件断裂、牙槽脊吸收、种植体脱落等失效情形中起着决定性的作用。如何确定在功能或病理载荷作用下的种植体及其周围骨组织的应力分布, 并在此基础上优化种植体设计和手术方案是口腔种植体生物力学的根本任务。

载荷从种植体到颌骨的传导方式是与自然牙根截然不同的。自然牙根与颌骨之间存在着一层薄薄的牙周膜, 起着缓冲的作用, 使载荷能够较均匀地传递到周围颌骨组织中去。而种植体与周围颌骨组织是刚性结合, 其界面的应力要远远大于自然的状态, 有时甚至会出现应力集中的现象。这种种植体与周围骨组织之间的刚性结合必然会影响到种植体、种植体上部结构及周围骨组织的应力分布, 从而影响到种植体的长期成功率。为了避免或降低这种不利的应力状态, 首先需要对种植体及其周围骨组织进行准确的力学分析。

过去的 30 年里, 理论、实验和数值计算等方法都在种植体的力学分析中得到广泛应用。由于颌骨结构的形态复杂性, 理论分析和实验测量只能在过分简化的模型上进行, 从

而难以得到精确的结果. 有限元技术的迅速发展及其在复杂几何模型建模上的潜力吸引人们越来越多的注意力. 现在, 有限元方法已经被应用到种植体生物力学分析中的几乎所有方面. 图 2 是用有限元方法分析种植体周围骨组织愈合过程中的生物力学问题的示例.

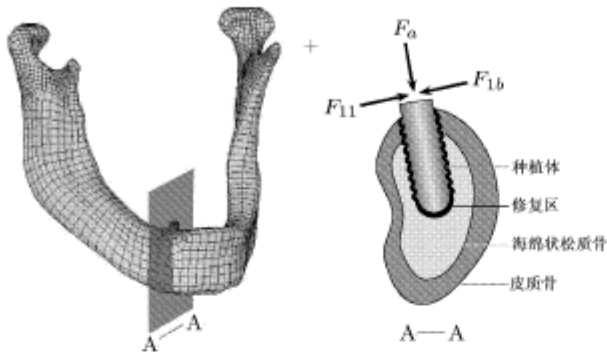


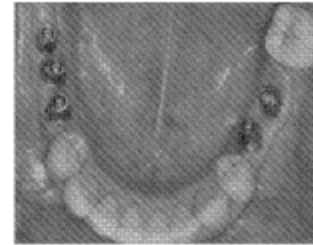
图 2 用有限元方法分析种植体周围骨组织愈合过程中的生物力学问题

种植体生物力学分析所遇到的第一个问题是要确定种植体/骨组织系统的几何参数和力学参数. 现在常用的是由纯钛或钛合金制造的种植体, 其物理参数还不难得到. 而颌骨的几何形状十分复杂, 特别是上颌骨的结构几乎毫无规则可言, 建立一个几何形态良好, 接近真实解剖结构的有限元模型常常需要花费很多精力. 上、下颌骨是由一层很薄的皮质骨及其内部的海绵状的松质骨所构成. 皮质骨一般表现为各向异性弹性, 但由于人的个体差异较大, 还很少有精确的测量数据可供使用. 松质骨是一种蜂窝状结构, 作连续体假设时很难得到它的等效力学参数, 特别是泊松比. 此外, 松质骨在颌骨内的分布很不均匀, 也给建模带来了一定的困难. 只有通过大量的实验测量才能得到上、下颌骨真实、可靠的几何参数和物理参数.

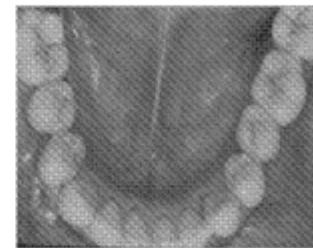
种植体的设计因素, 如直径、长度、剖面形状等, 以及不同的上部结构、种植体与自然牙齿的联合支撑等, 都会影响种植体及其周围骨组织的应力状态. 人们在过去的 30 多年里已经进行了大量的探索, 得出许多有益的结论, 极大地加深了人们对种植体/骨组织系统的理解, 为新产品的开发提供了理论依据.

随着研究的深入, 人们越来越认识到种植体和其周围骨组织之间的界面在种植体的长期成功方面起着关键作用. 即使是一个成功的种植体 (图 3), 与其周围的骨组织的接触面积也只有 30% 到 80%. 如何精确描述这一结构, 成为力学分析成功的前提. 此外, 仅仅分析界面的应力分布是远远不够的, 还应考虑到周围骨组织对应力响应. 虽然人们还不知道骨组织对应力激励的响应机制, 但一般认为在正常的功能载荷作用下, 骨组织的应力应该处在一个适当的生理范围内. 当应力过高, 就会引起过应力骨吸收, 而当应力过低, 则会产生废用吸收. 近年来人们试图建立起各种各样的应力愈合模型, 以描述种植体周围骨组织对应力响应的动态反应. 骨

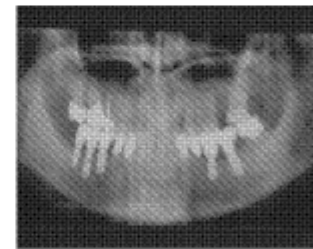
的应力生长模型已经成功地解释了种植体颈部颌骨吸收的现象, 指出过应力状态是造成颌骨吸收的主要原因, 而不是像人们原先所猜测的那样, 也存在废用吸收.



(a) 种植体愈合 (骨结合) 后, 安装上基桩时的情形



(b) 最后的修复结果



(c) 修复后的 X 光片, 可以清楚地看到下颌骨中的 5 颗种植体

图 3 下颌骨种植体实例 (续)

口腔种植体现在已经不仅仅局限于传统口腔修复领域的应用, 它还被应用到耳鼻喉科、眼科正畸、整形外科以及颌面各种缺损的修复等众多领域, 发挥着越来越重要的作用. 但是由于种植体的研发和经销基本上为西方国家所控制, 目前种植体的成本还很高, 我国的普通患者还难以接受. 生物力学工作者应该为发展具有我国自主知识产权的种植体体系做出自己的贡献.

## 参 考 文 献

- 1 巢永烈, 梁星. 种植义齿学. 北京医科大学中国协和医科大学联合出版社, 1999
- 2 Schroeder A, Sutter F, Buser D, et al. Orale Implantologie. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 1994
- 3 Brånemark P-I, Zarb GA, Albrektsson T. Gewebeintegrierter Zahnersatz. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH, 1985