

可靠性理论在口腔修复领域应用初探*

姚加成¹ 刘长亮¹ 张磊^{2*}

1 德嘉口腔医院 河北 廊坊市香河县 065499

2 解放军总医院第八医学中心口腔科 北京 海淀 100039

摘要: 关于口腔修复体质量的不确定性及使用寿命问题, 长期以来的做法是采用安全系数法, 但考虑到口腔修复体所处的口腔环境与口腔修复体受到的周期性的咬合力、以及义齿材料的物理参数和几何参数, 以及在义齿制作成型中的各环节均存在随机性, 将基于概率论和数理统计为基础的结构可靠性理论应用于口腔修复学领域, 能更真实的模拟真实口腔环境下修复体荷载模式。

关键词: 可靠性理论; 有限元分析; 应力-强度干涉理论; 优化设计

临床中修复科医生对于患者提出的有关修复体使用寿命的问题, 往往不能给出具有理论依据的回答, 同时他们在牙体预备以及义齿设计、制作中有的时候仍然是靠经验行事。近些年, 三维有限元方法已广泛应用于口腔修复体的应力分析中, 其研究成果对口腔修复体基本理论的完善, 临床医生技术的提高, 口腔修复体的优化设计, 修复材料的选择和义齿制作工艺的改进起到了一定的理论指导作用。但三维有限元分析只是一种针对单因素、且确定数值^[1]的实验应力分析方法。它采用的是安全系数法, 它视应力 S 和强度 r 均为定量, 单纯的比较 S 与 r 的大小, 凭经验对结果进行安全与不安全的判断。然而修复体的损坏或失败是多种因素共同作用的结果^[2-5], 所以口腔修复体的质量和预期寿命是一个不确定问题, 它由许多随机因素决定。

为了处理好这些不确定性问题, 给患者对其所关心的系统的安全度以及破坏的可能性或破坏的概率一个明确的答复, 那么就可以尝试将已在各行业广泛应用的可靠性理论引入到口腔修复体质量及使用寿命评价中。可靠度设计法的优点就是可以更全面地考虑诸因素的客观变异性, 使设计更加合理, 能够用严格用概率来度量其安全度。众所周知, 口腔修复体所处的口腔环境、咀嚼过程中受到的周期性的咬合力、牙体组织与义齿材料的物理参数(泊松比, 弹性模量)和几何参数(金属和瓷层厚

度), 以及在义齿制作成型中的各环节均存在随机性, 所以在口腔修复设计中采用可靠度分析方法是一个很好的尝试。

1 可靠性理论

1.1 可靠性理论发展: 采用基于概率论和数理统计为基础的结构可靠性^[6]是安全性、适用性和耐久性的统称, 可靠度为可靠性的数学量度。可靠性问题自人类的社会活动伊始就存在, 但真正引起人们的关注起始于第二次世界大战期间。当时美军的通讯、电子设备在使用中故障频繁发生, 一些电子设备甚至还未曾投入使用便已大量失败。据统计, 美军在二战期间, 由于各种故障和事故损失的飞机约有21000多架, 这一数字比参战被击伤击落的飞机多1.5倍。此外, 运往远东作战飞机上的电子设备, 经过长途运输后有60%不能正常投入使用^[7, 8]。当时是为了解决军用武器失效与失灵等问题, 就引用了概率论和统计学的方法, 从而就孕育了一门新的学科——可靠性理论。

可靠性理论在战后得到了完善与发展。历经半个多世纪的发展, 可靠性已逐步渗透到电子、机械、建筑、造船、航空、航天等多个部门, 可靠性的思想和方法已逐渐为工程技术人员认识和掌握。现如今, 可靠性问题是与人类的社会活动密切相关的问题。今天从代表国家科技水平最复杂的航天飞机到日常生活中最简单的圆珠笔, 从庞大的工程结构到微小的心脏起搏器等等都提出了明确的可靠性要求, 它小则影响人们的日常生活和工作, 大则危机人们的安全与生命, 甚至能给一个国家造成灾难性的后果。

1.2 可靠性基本概念: 可靠性定义为: 使用对象在规定的条件下和规定的时间内, 完成规定功能的能力。这里

*通讯作者: 张磊, 男, 1982.12, 汉, 北京海淀, 副主任医师, 博士研究生, 研究方向: 义齿可靠度分析及优化设计。

基金项目: 国家自然科学基金: 结构可靠性理论用于口腔修复体预测寿命和优化设计的研究初探(项目编号: 30872907)。

的使用对象是一个广义的术语,视具体对象而定。具体到口腔修复领域,口腔各类修复体即为使用对象;规定的条件是指使用对象所处的外部环境条件。对于口腔修复体来说,外部环境条件系指:咀嚼力,口腔潮湿环境,口腔温度等等。同一个修复体在不同的规定条件下其可靠性全然不同,患者在戴固定桥后经常咀嚼硬物下的可靠性远比经常咀嚼一般食物可靠性要低的多;规定的时间是指使用对象的寿命指标。导弹结构的工作寿命仅为几十秒钟,而水库大坝的使用寿命则长达数百年;规定的功能是指使用对象的技术性能指标。不同的使用对象将赋予不同的功能要求。全瓷冠主要是用来修复前牙,它在满足咀嚼功能的同时,同样主要的是满足美观功能。而用来修复后牙的黄金铸造冠则更为注重咀嚼功能。

可靠度的定义^[6]是:使用对象在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的概率。因为各种随机因素的影响,在规定的条件和规定的时间内,使用对象可能具有亦可能降低或完全丧失完成规定的功能,这是一个随机事件,而随机事件发生的可能性大小只能用概率来度量。例如说后牙烤瓷单冠在每天咀嚼4000次^[9],正常使用10年后可靠度为0.9,这就意味着如果从这类烤瓷单冠随机抽取100个,在正常使用10年后,平均应有90个仍能继续使用。

可靠性与可靠度的重要区别在于:可靠性是一定性的描述,而可靠度是一定量的度量。

1.3 可靠性理论在口腔修复领域应用的必要性

口腔修复体如今不仅作为商品,更是作为艺术品,应该能很好的达到患者期望的要求。它的质量指标主要有两类:性能指标与可靠性指标。性能指标就是完成规定功能的技术指标。以修复体为例,如义齿形态,颜色以及行使咀嚼功能的效率。如果只有性能指标是不能完全反映修复体的质量水平的。例如新的义齿经过一年使用,是否还能保持原有的各项性能指标。所以口腔修复体的平均寿命也是患者非常关心的问题。因此,修复体应该还有另一类质量指标,即可靠性指标,它是反映保持性能指标的能力。产品的功能是否能得到发挥,在很大程度上取决于产品的可靠性水平。

考虑到义齿的设计、制作、使用中存在的各随机因素,采用基于概率论和数理统计为基础的可靠性理论对于义齿分析显得更为精确,更为符合实际,它使口腔修复体的性能和使用寿命的评估更加量化。它不但能回答患者关心的口腔修复体使用寿命问题,而且还能为临床医生实现提高义齿使用寿命,优化义齿设计及修复材料

的选择和义齿制作工艺和机械方面的改进都起到了很好的理论指导作用。

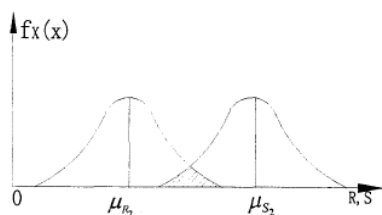
2 口腔修复体可靠性分析

2.1 口腔修复体可靠性分析中的随机因素:义齿所处的口腔环境、牙体组织与义齿材料的物理参数(泊松比,弹性模量)和几何参数(金属和瓷层厚度),以及在义齿制作成型中的各环节均存在随机性。随机因素主要来自两个方面:(1)环境或荷载—口腔所处的是一个相对恒温的环境,但由于日常食用很烫或者很凉的食物,对于修复体是一种瞬时热荷载;口腔修复体主要功能在于恢复咀嚼功能,修复体所受到的荷载主要包括日常咀嚼过程中受到的周期性的咬合力。此外在一些特殊情况下,口腔修复体会受到超出常规的冲击力,比如咬到沙子,瞬时咬合力很大。(2)结构性质——如由于铸造等工艺过程中产生的缺陷或者由于各个技工中心所采用的合金原料中各组分含量的变化所导致材料力学性质(材料强度极限、疲劳极限、尺寸系数,表面质量系数,应力集中系数,环境系数)的随机性,以及由于制造、加工、设计而产生的修复体尺寸的随机性等。

2.1 应力—强度干涉理论:口腔修复体的可靠性分析主要采用机械可靠性中的应力—强度干涉理论^[10]。传统的机械强度校核和设计的决定论方法中,采用的是安全系数法^[11],以K值大于或小于等于1分别作为安全与不安全的判据。但事实上,当应力S和强度r均为随机变量时,从安全到不安全状态转变并不是阶跃式的突变,而是渐进的缓变过程,即在两种状态之间存在着一段安全与不安全两种可能性并存的过渡阶段(应力S与强度r变量的干涉区)。显然,对于这一阶段只能借助于概率的方法,用安全(可靠)和不安全(破坏)的概率值定量的描述之,这样便产生了应力—强度干涉理论。

应力—强度干涉理论中,把一切引起失效的外部作用参数称为应力S,它是作用荷载L、环境温度T、几何特征尺寸G、材料物理参数P、时间t以及其它随机因素H的函数,即 $S = f(L, T, G, P, t, H)$;而把材料抵抗失效的能力称为强度r,它是材料强度极限 σ_b 、疲劳极限 s_{-1} 、尺寸系数 ϵ 、表面质量系数 β 、应力集中系数 k_f 、环境系数 k_d 以及其它随机因素H的函数,即 $r = f(\sigma_b, s_{-1}, \epsilon, \beta, k_f, k_d, H)$ 。应力S与强度r分别为某种函数分布,且相互独立。他们的概率密度函数分别为 $f_s(\cdot)$ 和 $f_r(\cdot)$ 。定义可靠度(安全概率) P_r 和失效(不安全)概率 P_f , $P_r + P_f = 1$ 。按同一尺寸将S和r的密度函数绘于同一坐标系中(如图)。图中两函数曲线的重叠部分以阴影表示,称为应

力与强度干涉区,即可能发生失效的区域。干涉面积越大,失效概率就越大^[6]。



结构功能函数可以表示为 $Z = r - S = g(r, S)$

当 $Z > 0$,即抗力 R 大于荷载效应 S 时,结构处于可靠状态;

当 $Z < 0$,即抗力 R 小于荷载效应 S 时,结构处于失效状态;

当 $Z = 0$,即抗力 R 等于荷载效应 S 时,结构处于极限状态。

3 未来展望

总而言之,虽然我们以往的理论力学及试验力学的分析中对于口腔修复体应力分析中积累了经验,但是传统方法毕竟不是很完备,他最大的缺点就是安全系数大小本身不可能对修复体质量及使用寿命给出定量的意义。关于口腔修复体质量的不确定性及使用寿命问题,长期以来的做法是采用定值论的方法表达安全程度。采用的是安全系数法,即认为工作应力 S 与其材料强度 r 均是确定的定值,并定义安全系数为 $K = r/S$,以 K 值大于或小于等于1分别作为安全与不安全的判据。简单机械的根据安全系数 K 值是否大于1将使用对象划为安全与不安全两种截然不同的状态亦显得过于武断。从安全到不安全这个渐进的缓变过程,借助于概率的方法,用安全(可靠)和不安全(破坏)的概率值定量的描述应该是最为确切的结果。

考虑到口腔修复体所处的口腔环境与口腔修复体受到的周期性的咬合力、以及义齿材料的物理参数和几何

参数,以及在义齿制作成型中的各环节均存在随机性,将基于概率论和数理统计为基础的结构可靠性理论应用于口腔修复学领域,是一次不错的尝试。随着可靠度理论进一步应用于口腔修复体的分析,相信整个理论会更加完善,从而使其更好的得到应用。

参考文献

- [1]M.TOPARLI, S.SASAKI. Finite element analysis of the temperature and thermal stress in a post-restored tooth [J]. Journal of Oral Rehabilitation. 2003, 30: 921-926
- [2]孙梦华.咬合因素对崩瓷的影响浅析[J].口腔颌面修复学杂志.2004, 5(4): 126-130
- [3]马轩祥.我国瓷修复的问题与展望[J],中华口腔医学杂志,1999, 34: 261
- [4]刘伟才.牙科陶瓷循环和静态疲劳的对比实验[J].中华口腔医学杂志,2005, 40(6): 508-510
- [5]White SN, Zhao XY, Zhaokun Y, et al. Cyclic mechanical fatigue of feldspathic dental porcelain [J]. Int J Prosthodont, 1995, 8: 413-420.
- [6]陈建军主编.机械与结构系统的可靠性[M].西安电子科技大学, 1994
- [7]Nicolescu T. Weber R. Performance degree of structures. Reliability Engineering. 1981, 2(1):141-157.
- [8]Strugeno R C, Rudy R J, Kurajian G M. Failure Prevention and Reliability. American Society of Mechanical and Engineering, 1983, 131-135.
- [9]何立弘. SHOFU长石质陶瓷疲劳性能研究[D].四川大学华西口腔医学院博士学位论文, 2005
- [10]包洪兵,姚卫星.考虑模型性不确定性的应力-强度干涉模型[J].力学学报,2008,40(6):834-839
- [11]穆加宇.结构可靠性理论在桥梁工程中的应用[D].浙江大学硕士学位论文,2002