

文章编号 1004-924X(1999)06-0085-05

利用 CAD/CAE 技术进行骨骼的 计算机模拟仿真

牛晓明

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

李江

(白求恩医科大学口腔医院 长春 130021)

吴清文

(哈尔滨工业大学机械工程学院 哈尔滨 150001)

摘 要 应用 CAD 的自由形状实体建模技术,在计算机上构造人体骨骼的三维实体仿真模型,以此为基础建立骨骼的力学分析有限元模型,并进行线性和非线性有限元分析,初步计算出骨骼的应力、应变分布情况,为进行医疗康复器械的最优设计提供了科学的依据。

关键词 自由形状实体建模 有限元分析 计算生物力学

中图分类号 TP391.72, TP391.9 **文献标识码** A

1 引 言

随着 CAD/CAE 技术的日益发展和成熟,它的应用范围也越来越广泛,近年来已经逐步渗透到各个工程领域当中,在医疗领域的研究和临床实践中,骨折康复器械、人造义齿等医疗器材的设计都是以骨骼的应力、变形分析为基础进行的,由于 CAD/CAE 技术的应用,为更加准确、快速地进行人体骨骼的三维模拟仿真以及应力应变的分析计算、科学设计医疗康复器械提供了强有力的工具。人体骨骼的特点在于其形状的复杂性、不规则性,其外形一般多为自由形状的曲面,难以用准确的数学解析方程进行描述,而且由于骨骼的康复再生过程是一个动态过程,在这一过程中其局部材料特性表现为塑性等非线性和各向异性的特征,其受力后的应力和应变的计算涉及到非线性计算问题,若想用理论分析的方法进行求解难度极大。为了解骨

髓在受力下的应力、应变的分布情况,以往多采用实验测试的手段,但是用这种方法的缺点在于实验手段复杂,进行多种载荷工况下的实验往往耗资大、周期长、效率低,而且由于无法在人体上直接实验,因此很难准确地反映出各种不同受力情况下的应力分布规律,为了解决这一问题,近年来人们多采用数值计算的方法进行分析,从而形成了一个新兴的学科领域—计算生物力学,它以传统的力学分析理论为基础,应用数值分析手段例如有限元方法等,可以对各种形状的骨骼、器官进行线性和非线性的应力和变形分析,CAD/CAE 技术的发展为这一领域提供了更为方便、高效的手段。它结合了 CAD 的功能强大的复杂曲面造型技术和 CAE 的快速准确的大规模有限元分析能力^[1],使得对人体骨骼进行三维仿真和准确的应力分析计算成为可能。本文以两个具体的应用实例—人体颌骨和胫骨的一体化建模分析为例,论述了从 CAD 的三维计算机仿真模型建立到 CAE 应力分析的过程。通过本文的分析,为医疗器械的最优设计提供了科学的依据。

2 骨骼的 CAD 三维仿真模型的建立

2.1 CAD 的自由形状实体生成技术

利用 CAD 的强大的图形功能,生成人体骨骼的三维模型,从而可以得到骨骼的几何物理属性,进行各种动态模拟仿真,并为进一步进行力学分析模型的建立打下基础。人体骨骼外形为自由形状曲面,无法用解析形式的数学方程描述,因此建模多采用自由形式特征建模技术。遵循从点到线再到面最后形成实体的建模过程,采用离散点插值、拟合的方法获得插值、拟合曲线、曲面。为此首先利用切片的方法或利用空间坐标测量装置测得骨骼表面一定数量离散控制点的空间坐标,然后经过插值、拟合等方法生成一组插值曲线,即骨骼的轮廓线,然后利用这组曲线拟合形成骨骼的理想表面。目前在通用的 CAD 软件中都包含多种曲线插值和拟合方法,其中曲线的插值主要采用样条曲线进行,主要有贝塞尔样条、通用 B-样条方法或最小二乘拟合方法进行曲线的插值和拟合^[2],贝塞尔样条由一段曲线组成,其控制点数受到限制,曲线方程阶数较高,对曲线局部形状的改善不易进行;B-样条方法插值曲线由多条线段组成,因此控制点数不受限制,曲线方程阶数较低,对曲线的局部形状的逼近与修改比较灵活,因此受到广泛采用,本文也采用这种方法进行曲线的插值,在得到插值曲线后,可以通过母线法或旋转法等方法生成骨骼的表面曲面和三维实体模型^[3]。

2.2 人体骨骼的计算机仿真模型建立

以下为采用曲线、曲面拟合方法生成的人体颌骨和胫骨的三维实体模型。图 1 为由控制点、控制曲线生成的上颌骨拟合曲面和三维实体模型的线框图,图 2 为下颌骨的三维实体模型线框图。

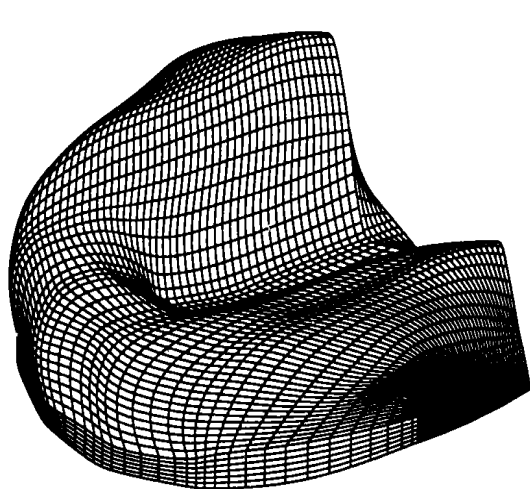


Fig. 1 3-D model of upper jaw

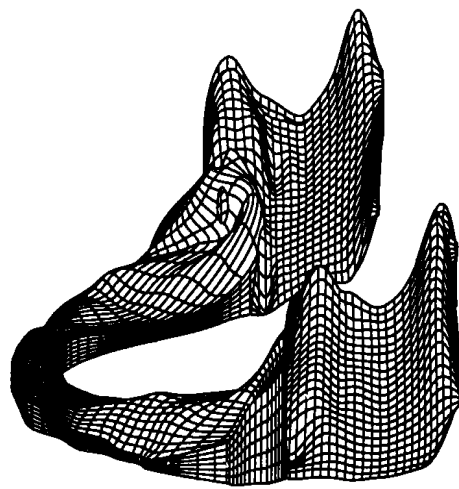


Fig. 2 3-D model of lower jaw

3 骨骼的 CAE 工程分析仿真

3.1 人体颌骨的应力分析

人体颌骨形状各异, 由于其上排列有许多牙齿, 其大小和受力方向均不相同, 造成啮合时颌骨的受力情况较为复杂, 通过对颌骨的应力分析, 了解它在受力情况下的应力分布规律, 可以合理地设计人造基托, 避免发生由于应力集中而引起的断裂情况的发生。在三维仿真实体模型的基础上划分颌骨的有限元分析模型, 在牙齿所在的位置施加节点力来模拟颌骨的受力, 通过改变节点力的大小和方向来模拟不同类型颌骨的啮合情况, 经过计算得到应力和变形情况。图 3 为上颌骨的有限元模型图, 图 4 为下颌骨的有限元模型图, 图 5 为颌骨垂直啮合时上颌骨应力分布图, 图 6 为下颌骨的应力分布图。

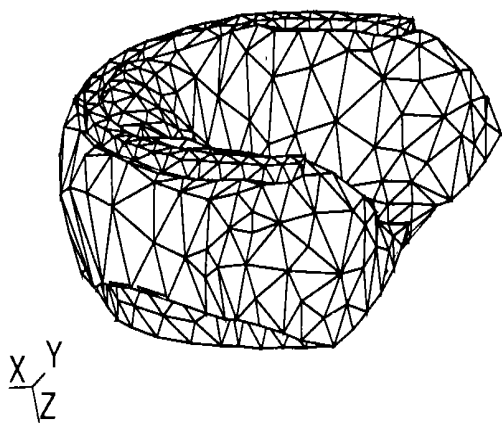


Fig. 3 FEM model of upper jaw



Fig. 4 FEM model of lower jaw

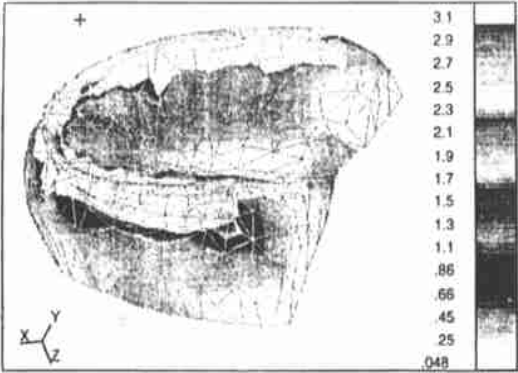


Fig. 5 Stresses in upper jaw

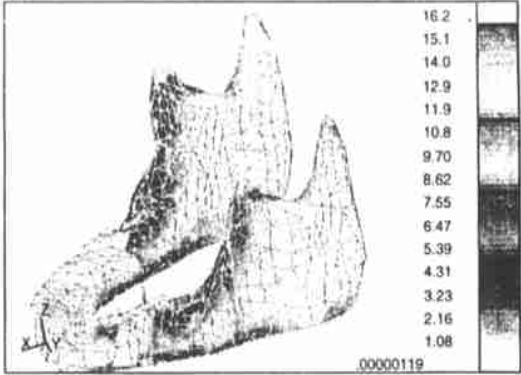


Fig. 6 Stresses in lower jaw

3. 2 人体胫骨的工程分析

为了加快胫骨骨折的康复过程, 保证断骨的正常再生, 医疗上多采用外固定方式, 利用外固定架固定断骨的两端, 保证骨的正常愈合, 因此, 外固定架设计的合理与否, 对于加快断骨的愈合, 避免骨愈合后发生畸形和其它病变, 在临床上有着重要的意义。通过分析胫骨—外固定架系统的受力情况, 为合理地设计固定器材, 减少应力遮挡效应的影响, 提供科学的依据。为此建立胫骨—外固定架系统的有限元模型图如图 7 所示, 由于断骨的连接处在愈合初期为软组织, 其材料的刚度较低, 受力变形规律为非线性, 为此, 建模过程中断骨处采用非线性间隙单元进行模拟其它部位采用线性单元建模, 通过改变受力方向来模拟人在行走时固定系统的受力情况。经计算后得到固定系统在 750N 的力垂直作用下应力分布图如图 8 所示。由图 8 可以看出, 固定系统的应力主要集中于断骨附近及固定架中部, 据此可合理设计固定架以保证骨的正常愈合。

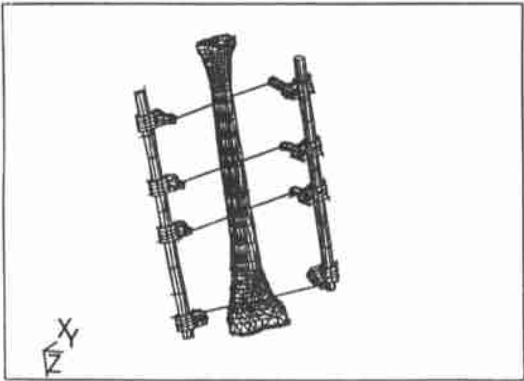


Fig. 7 Fixation system FEM model

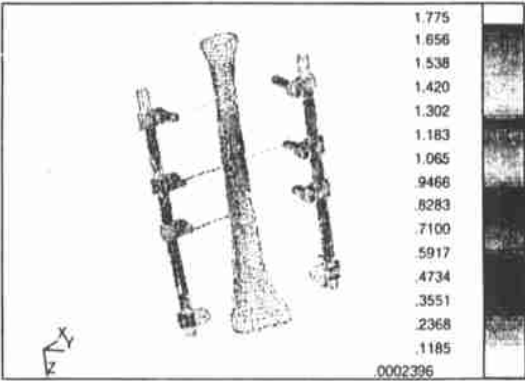


Fig. 8 Stresses in fixation system

4 结 束 语

利用 CAD/CAE 的技术手段进行人体骨骼的计算机仿真与分析, 可以直观方便地对骨骼的形状、变形、应力等的分布情况进行模拟分析, 大大加快了医疗器械的研制周期, 使其研制更

加科学、合理。本文利用 CAD 的建模技术建立了骨骼的三维仿真模型并对骨骼的受力情况进行了初步的分析计算, 为医疗器械的设计提供了科学的参考数据, 由于骨骼的材料不同于其它材料, 它其中包含有一定的塑性成分, 为简化计算, 本文均采用线弹性材料进行计算, 得出的结果难免有一定的误差, 随着进一步的分析计算, 有些地方还有待完善, 但是这种方法本身已经显示出了巨大的优越性, 近年来, CAD/CAE 技术在计算生物力学领域的应用正方兴未艾, 它必将有着更加广阔的前景。

参 考 文 献

- 1 卢 鐸. 产品研制开发 CAD/CAE/CAM 技术路线与应用. 光学精密工程, 1997, 5(6): 1~9
- 2 Unigraphics Modeling User Manual. EDS corporation Unigraphics Division. 1994, 70~100
- 3 任庆华. CAD 曲面造型技术. 光学机械, 1992, 2(4): 47~54
- 4 刘春. CAE 在生物力学中的应用. 光学 精密工程, 1996, 4(6): 71~73
- 5 卢鐸. CAD——一场设计的革命. 光学 精密工程, 1994, 2(2): 1~7

Computer Simulation of Bone by Means of CAD/CAE

NIU Xiao-Ming

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

LI Jiang

(*Hospital of Dentistry, Norman Bethune University of Medical Sciences, Changchun 130021*)

WU Qing-Wen

(*Department of Mechanical Engineering, Harbin University of Technology, Harbin 150001*)

Abstract

The application of integrated CAD/CAE technology in computational biomechanics is discussed, The 3-D simulated models of human bones are constructed by means of CAD and the FEM analysis model are constructed on the basis of the 3-D model. The linear and non-linear stress analysis are performed which provides the scientific data for the design of medical instrument.

Key Words: Freeform modeling, FEM, Computational biomechanics

牛晓明 男, 1968 年生, 1990 年毕业于北京理工大学并获学士学位; 1995 年毕业于长春光机所研究生部并获硕士学位; 现于长春光机所 CAD 应用技术研究室在职攻读博士学位。主要从事光学仪器的 CAD/CAE, 线性和非线性有限元分析, 热分析, 热设计。