

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: 23020061152469

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

# 基于有限元方法的角膜屈光手术分析

## The Analysis of Cornea Refractive Surgery Based on The Finite Element Method

刘 兵

指导教师姓名: 王 博 亮 教授

专 业 名 称: 计算机应用技术

论文提交日期: 2009 年 5 月

论文答辩时间: 2009 年 5 月

学位授予日期: 2009 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2009 年 5 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

(        )1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于  
年    月    日解密，解密后适用上述授权。

(        )2. 不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人（签名）：

年    月    日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

虚拟器官的建模与仿真是当前国际上研究的前沿课题，眼睛作为人体中一个极为精密且十分重要的器官，其建模与仿真的实现具有十分重要的意义。而角膜是人眼的重要组成部分，对眼睛的屈光度影响最大。角膜屈光手术通过改变角膜的屈光力来达到矫正屈光不正的目的，由于手术方便、疗效显著，且不需要佩戴眼镜，因此受到人们普遍欢迎。而术后的应力分布及手术中采用的不同参数对手术效果的影响一直是医患双方都比较关心的问题。运用有限元的方法分别建立角膜屈光手术前后的有限元模型，并通过分析对比手术前后眼角膜的应力分布及变形情况，可以为实际手术中不同情况进行预测，为实际的屈光手术提供指导。

本文首先分析了角膜的物理形态，在此基础上，简化了角膜的模型，分别建立了几种角膜屈光手术前后的有限元模型；然后在建立的有限元模型的基础上，针对当前常见的屈光手术（RK、LTK、LASIK）进行了仿真研究和分析，探索了屈光手术的实现原理，并详细分析了眼内压对角膜屈光手术的影响及各手术参数对角膜屈光手术的影响。

本文研究工作的主要内容及创新主要包括以下几点：

1. 构建了 RK 手术前后的有限元模型，并对手术前后的角膜形态进行了仿真，分析了眼内压对正常情况下及 RK 手术后的角膜的影响，研究了 RK 手术中切口深度对手术效果的影响。

2. 针对 LTK 手术的特点，首先对激光照射下的角膜进行了热分析，研究了角膜在激光照射后的热分布及热传递情况；然后在此基础上建立了 LTK 手术后的有限元模型，对比分析了在相同眼内压作用下不同光学区半径对 LTK 手术的影响以及相同光学区直径下不同的眼内压对角膜的影响。

3. 对准分子激光原位角膜磨镶术(LASIK 术)进行了简化分析，首先建立了手术后的角膜有限元模型，然后详细分析了手术中切削厚度对手术效果的影响及眼内压对手术效果的影响，并对 RK 手术和 LASIK 手术来治疗近视做了对比分析，从结果来看，RK 手术用来矫正低度近视而 LASIK 手术可以用来矫正高度近视是有科学依据的。

关键词：角膜；有限元方法；RK 手术；LTK 手术；LASIK 手术；眼内压

厦门大学博硕士学位论文摘要库



## Abstract

The construction of virtual organ is one of the frontier research areas. As one of the most important and tiny organs of human, eye should be modeled and simulated factitiously. Cornea—as one of the most important part of eye affects the refraction of the eye most. Corneal refractive surgery by changing the corneal refractive power to achieve the purpose of correcting refractive errors. It is welcomed among people because the surgery is convenient and the curative effect is remarkable. The doctor and patient are always concerned about the stress distribution before and after surgery and the effect of parameters' changes in the operation. In this paper, the finite element models were built respectively before and after refractive surgery with the finite element software ANSYS. The stress distribution of the cornea before and after surgery, the impact of intraocular pressure to the cornea was analyzed. This can predict for the different scenarios of actual surgery, and can provide practical guidance for the refractive surgery.

In this thesis, the establishment of a number of corneal refractive surgery before and after the finite element model based on the simplified model of the cornea on the physical form of the cornea; and then in the establishment of the finite element model based on the current common of refractive surgery (RK, LTK, LASIK) simulation and analysis, to explore the realization of the principle of the refractive surgery, and a detailed analysis of intraocular pressure on the impact of corneal refractive surgery and the operation parameters on the corneal refractive surgery the impact of.

Followings are the innovations of this thesis:

1. The finite element models of cornea before and after the RK surgery were constructed, and simulated the corneal shape before and after the RK surgery. Then analyze the effects of intraocular pressure in normal circumstances and after RK surgery to the refractive surgery, and study the impact of the depth of the surgical incision to the surgery.

2. First of all, the corneal thermal analysis under the laser irradiation was carried out to examine the cornea after laser irradiation in the heat distribution and heat transfer situation based on the characteristics of the LTK surgery; And then on the basis of the establishment of post-operative LTK finite element model, comparative analysis the intraocular pressure in the same role in different optical zone radius of the impact of surgery on the LTK and the same under the different optical zone diameter of the intraocular pressure of the impact of corneal.
3. The laser in situ keratomileusis (LASIK surgery) was simplified and analyzed. First the post-operative finite element model of the cornea was set up, and then a detailed analysis of the surgical cutting of the effect of thickness on the impact of surgery and intraocular pressure effects of surgery the impact of, and RK surgery and LASIK surgery for the treatment of myopia has done.

**Key words:** cornea; finite element method; RK surgery; LTK surgery; LASIK surgery; intraocular pressure

# 目录

<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 课题的背景及研究现状.....	1
1.2 本课题的研究工作及创新之处.....	5
1.3 本文的组织结构.....	6
<b>第二章 人眼视觉原理及常见的屈光手术原理</b> .....	<b>7</b>
2.1 眼睛及角膜构造.....	7
2.1.1 眼睛的结构.....	7
2.1.2 角膜的结构.....	8
2.2 眼睛的屈光原理及屈光不正的分类.....	9
2.3 常见的屈光手术及手术原理.....	11
2.3.1 常见的屈光手术.....	11
2.3.2 常见的屈光手术原理.....	12
2.4 本章小结.....	13
<b>第三章 基于有限元的角膜建模及 RK 手术分析</b> .....	<b>15</b>
3.1 有限元方法简介.....	15
3.2 角膜有限元模型的建立.....	17
3.2.1 角膜的物理学特性.....	17
3.2.2 角膜有限元模型的建立.....	18
3.3 RK 手术有限元分析.....	20
3.3.1 约束条件.....	20
3.3.2 眼内压变化对角膜的影响.....	21
3.3.3 RK 手术对角膜的影响.....	23
3.4 本章总结.....	26
<b>第四章 激光角膜热成形术 LTK 有限元分析</b> .....	<b>27</b>
4.1 LTK 手术的发展及原理.....	27
4.2 LTK 手术后角膜热分析.....	29
4.3 LTK 手术后角膜有限元分析.....	35

4.3.1 角膜的材料特性.....	35
4.3.2 LTK 手术后的角膜有限元分析 .....	36
4.4 本章小结 .....	39
<b>第五章 基于有限元法的 LASIK 手术分析.....</b>	<b>41</b>
5.1 LASIK 手术简介.....	41
5.2 LASIK 手术的有限元分析 .....	44
5.2.1 LASIK 术前后角膜模型的建立 .....	44
5.2.2 LASIK 后角膜的有限元分析 .....	44
5.3 LASIK 手术中不同参数对手术的影响 .....	47
5.3.1 眼内压对 LASIK 术后角膜的影响 .....	47
5.3.2 LASIK 术中切削直径对手术的影响 .....	48
5.3.3 LASIK 术中切削厚度对手术的影响 .....	49
5.4 RK 手术与 LASIK 手术比较 .....	50
5.5 本章小结 .....	50
<b>第六章 总结和展望 .....</b>	<b>53</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>55</b>
<b>攻读硕士学位期间发表论文及科研情况 .....</b>	<b>59</b>
<b>致谢.....</b>	<b>61</b>

# CONTENTS

<b>Chapter 1. Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 Background and Research status .....	1
1.2 Research and Innovation.....	5
1.3 Structure of Thesis .....	6
<b>Chapter 2. Principle of human vision and common principles of refractive surgery .....</b>	<b>7</b>
2.1 Eyes and corneal structure.....	7
2.1.1 The structure of the eye.....	7
2.1.2 The structure of the cornea.....	8
2.2 The refractive principle of the eye and the classification of ametropia ....	9
2.3 Common refractive refractive surgery and principle of the surgical .....	11
2.3.1 Common refractive surgery .....	11
2.3.2 The principle of common refractive surgery.....	12
2.4 Conclusion .....	13
<b>Chapter3. The modeling of Cornea and RK surgery analysis based on the finite element.....</b>	<b>15</b>
3.1 The introduction of the finite element method .....	15
3.2 The establishment of corneal finite element model.....	17
3.2.1 Physical characteristics of the cornea .....	17
3.2.2 The establishment of corneal finite element model .....	18
3.3 Finite element analysis of RK surgery .....	20
3.3.1 Constraints .....	20
3.3.2 The impact of the different intraocular pressure on the corneal .....	21
3.3.3 The impact of the RK surgery on the cornea .....	23
3.4 Conclusion .....	26
<b>Chapter 4. The LTK surgery analysis based on the finite element.....</b>	<b>27</b>

<b>4.1 The development and the principle of the LTK surgery .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 Thermal analysis of the cornea after LTK surgery.....</b>	<b>29</b>
<b>4.3 The analysis of the cornea based on the finite element.....</b>	<b>35</b>
4.3.1 The material properties of the cornea .....	35
4.3.2 The analysis of the cornea based on the finite element after LTK surgery.....	36
<b>4.4 Conclusion .....</b>	<b>39</b>
<b>Chapter 5. The LASIK surgery analysis based on the finite element</b>	<b>41</b>
<b>5.1 The principle of the LASIK surgery .....</b>	<b>41</b>
<b>5.2 The analysis of the LASIK surgery based on the finite element.....</b>	<b>44</b>
5.2.1 The model of corneal after LASIK surgery .....	44
5.2.2 The analysis of the LASIK surgery.....	44
<b>5.3 The impact of the different parameters on the cornea .....</b>	<b>47</b>
5.3.1 Intraocular pressure on the impact of surgery.....	47
5.3.2 Cutting diameter of the impact of surgery in LASIK surgery .....	48
5.3.3 Cutting thickness on the impact of surgery.....	49
<b>5.4 The comparison of RK surgery and LASIK surgery .....</b>	<b>50</b>
<b>5.5 Conclusion .....</b>	<b>50</b>
<b>Chapter 6. Summary and outlook.....</b>	<b>53</b>
<b>References.....</b>	<b>55</b>
<b>Achievements.....</b>	<b>59</b>
<b>Thanks.....</b>	<b>61</b>

## 第一章 绪论

如果说 20 世纪是物理世纪的话, 21 世纪则被认为是生物世纪, 以人体科学为中心的科学技术将以前所未有的速度发展。传统上医药学研究依赖于大量动物和人体实验的做法将在很大程度上由计算机模拟所取代。从这个方面来看, 人体的数字化模型至关重要。利用信息技术实现人体从微观到宏观的结构和机能的数字化、可视化, 最终达到人体的整体精确模拟, 将对医学生物学及人体相关学科的发展起到难以估量的影响。

### 1.1 课题的背景及研究现状

目前, 人类对自己的认识了解甚为有限, 特别是人类对病因研究、疾病诊断、疾病治疗, 以及人体与环境复杂交互关系的研究, 缺少精确量化的计算模型, “数字化虚拟人” 则可以帮助人类解决这一历史性难题。因此, 数字人体的研究成为关系到新世纪我国计算医学能否走到世界前列的大问题。

“数字化虚拟人” 是 20 世纪后期的新兴前沿学科, 它将人体结构和功能信息数字化、可视化, 建立能够为计算机处理的数学模型, 这就使利用计算机的定量分析计算和精确模拟成为可能, 在医学、航天、航空、建筑、机电制造、影视制作等领域有广泛应用价值。它包括“虚拟可视人”、“虚拟物理人”、“虚拟生物人” 3 个阶段。最早由美国于 1989 年提出, 1991 年和 1994 年美国医学家分别对一名男性尸体和女性尸体, 进行了高精度断面切削, 经过计算机图像数据处理, 获得了世界上第一个“虚拟可视人”的数据集。2000 年, 韩国开始了“虚拟可视人”研究的 5 年计划, 试尝建立具有东方人种特征的数据集, 获取了世界第二例“虚拟可视人”的数据集。由于“虚拟可视人”具有重大的社会应用价值, 欧洲以及日本等国家也纷纷投资, 酝酿和准备“虚拟可视人”的研究。

我国对“虚拟可视人”的研究, 是 2001 年在北京香山科学会议上提出的, 很快即被列入国家“863”启动项目(“虚拟中国人关键性技术的研究”)。科研人员仅仅经过半年多的努力, 便高质量完成了研究任务, 获得了首组切削图像资料, 其切削精度一般可达 0.1 毫米, 最高可达 0.02 毫米, 有多项技术指标超过了美国

和韩国。

但目前，各国的研究尚处于“虚拟可视人”阶段，即获取了“虚拟可视人”几何图像信息。而对“虚拟物理人”和“虚拟生物人”的研究和探讨，仅限于局部器官。国外已经取得的研究成果包括：德国汉堡大学开发的虚拟肝脏模型<sup>[1]</sup>，它综合考虑了肝脏的形态和物理特性，可用于模拟手术和制定手术计划；澳大利亚西澳大利亚大学构造的虚拟腹部模型<sup>[2]</sup>，模拟了整个腹腔壁及其内部各个重要脏器的形态、物理属性和它们之间的相互关系，以及它们在受到外力作用条件下的形变特性，主要目的是用于模拟汽车撞击实验条件下的腹部脏器受冲击效果；美国威克森林大学研究的虚拟结肠模型<sup>[3]</sup>，基于该模型，可以实现模拟结肠内窥镜；美国爱荷华大学提出的虚拟肺的计算解剖模型<sup>[4]</sup>等等。美国(university of Texas at Austin, TX, USA)、西班牙(Center for Research and Innovation on Bioengineering, Valencia Polytechnic University)等国家在 RK(Radio Frequency conductive keratoplasty)方面做了深入研究<sup>[5][6]</sup>，给出了运用有限元方法不同参数作用下 RK 手术的效果定性研究，但在成熟运用及很好的预测方面还有待进一步完善。英国(Division of Civil Engineering, University of Dundee)Kevin Anderson、Ahmed El-Sheikh、德国(Institute for Applied Computer Science)在用结构分析的方法对角膜的生物力学表现方面做了一定的研究<sup>[7][8]</sup>。

在国内，浙江大学已故的吕维雪教授在虚拟心脏方面的研究是最为著名的<sup>[9][10][11]</sup>。从最初的心血管系统的形态建模，到主要研究物理特性的心肌力学模型，从着重对心脏功能进行模拟的电生理模型，到虚拟心脏的应用研究等方面都做了大量的工作。西安交通大学鞠颖老师、卞正中教授、王博亮教授就中国人虚拟眼形态和功能进行了建模研究<sup>[12]</sup>。清华大学白净教授长期致力于血液循环系统和呼吸系统以及它们之间的相互影响和作用的数字化建模和功能仿真，同时还运用有限元方法对心肌生物力学特性进行建模的研究<sup>[13][14][15]</sup>。在 2007 年 12 月全国首届数字医学学术研讨会上，中国可视虚拟人研究领军人——钟世镇院士等 220 多名来自全国的数字医学专家、教授、学者展示了他们的最新研究成果：上海交大的中国力学虚拟人，南方医科大学将数字虚拟技术研究应用到骨科，华中科大研究了数字人体生理组学，山东大学对国人肝的研究提出了再认识及模型，厦门大学将数字医学技术应用到临床手术方案设计，上海交大医学院还把数字医学技术



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库