

엑시머 레이저 수술의 역학적 모델

신 정욱^o, 김 중현^{*}

^o 인제대학교 의용공학과

^{*} 황금 스테인레스 주식회사

A Mechanical Model of Excimer Laser Surgery

Jung - Woog Shin^o, Ph. D.

Jong - Hyun Kim^{*}, Ph. D.

^o Dept of Medical Engineering, Inje Univ
Kim-hae, Kyungnam

^{*} Hwang-Kum Stainless Steel Co., Ltd.
Seoul

= Abstract =

A finite element-based computer simulation of excimer laser surgery was conducted to study some factors on the surgery. In particular, the radius of curvature at the apex of the cornea was examined under various surgical conditions. Corneal tissue was assumed to be a nearly incompressible, linear elastic, homogeneous, isotropic material under very small deformation. The geometry of the human cornea was taken from the experimental data[1]. The simulation utilized ANSYS(Swanson Analysis System Inc.Rev.4.4A)

In this study, the major factors which affect the outcomes of the excimer laser surgery were investigated. First, two patterns of surgery with various surgery thickness(40-70micrometers) were examined. The pattern #1 describes the meridian from the apex to the edge of the surgery area to be straight. And the corresponding meridian of the pattern #2 can be expressed as a quadratic function. The results show that the pattern #2 is more realistic and effective. Then, the effects of other factors were investigated based on the pattern #2. Other factors are: various diameters of the surgical area (3-8 millimeters), Young's modulus(3.5-4.5MPa), and depth of surgery at the apex(40-70micrometers).

Compared with the computer simulation of the radial keratotomy surgery[2], the excimer laser surgery was proven to be more effective in treating myopia patients.

In conclusion, the results of the simulation are in qualitative agreement with clinical experience[3] indicating the potential of the finite element model of the surgery as a guideline to the surgeon before actual surgery.

1. 서 론

어떠한 물체를 선명하게 보려면 안구의 시신경에 상이 정확히 맺혀야 한다. 이를 위해서는 빛이 각막과 렌즈를 통과할 때 적당히 굴절을 해야한다. 하지만 근시환자는 빛의 과도한 굴절로 말미암아 상이 시신경 전방에 맺히게 된다. 이러한 현상을 해소하기 위해서 일반적으로 오목렌즈를 착용함으로써 빛의 굴절을 완화시켜 준다.

빛의 굴절은 각막에서 이미 전체 굴절량의 70-80%가 일어나고 나머지가 렌즈에서 일어난다[4]는 점을 착안하면 각막의 굴절률을 감소시키면 안경의 착용없이도 근시의 교정이 가능하다는 결론에 도달하게 된다. 이의 대표적인 예로 방사상각막절제수술(Radial Keratotomy)을 들 수 있다. 이는 그 용어가 나타내듯이 중심부를 제외한 각막의 표피를 보통 두께의 70-90%를 방사상으로 절제함으로써

중심의 곡률반경을 증가시켜 궁극적으로 굴절률의 감소를 초래하는 시술이다. 최근에는 레이저기술의 발달로 레이저의 에너지를 이용하여 각막의 중심부위의 일정한적을 잘라냄으로써 곡률반경을 증가시키는 시술법이 도입되었다. 두 시술의 기법은 판이하게 다르나 주 원리는 일치한다. 즉, 각막의 구조를 변경시킴으로써 안구의 내압을 이용, 각막중심부(Optical Zone)를 수술이전보다 편평하게 만들어서 굴절률의 감소를 가져온다는 것이다. 이들 시술에는 많은 역학적 요소가 관여하게 된다.

레이저를 이용한 엑시머레이저 시술에는 잘라내는 면적, 깊이, Young's Modulus, 잘린 부위의 측면형상등이 수술의 결과에 많은 영향을 미치게 된다. 하지만 현재의 시술은 과거의 임상경험에 의존하고 있는 바 수술 결과를 정확히 예견하기 힘들다. 따라서 과도한 교정도 발생할 수가 있다.

본 연구는 유한요소법을 이용하여 엑시머레이저수술의 결과에 영향을 미치는 각 요소의 변화에 대한 연구에 그 주안점을 두었다. 또 같은 조건하에서의 그 결과를 방사상각막절제술과 비교하였다.

2. 방 법

2.1 유한 요소법

범용 유한요소프로그램인 ANSYS 교육용 4.4A를 이용하였다. 각막의 물성치는 비압축성에 가깝고(Poisson's Ratio = 0.49) 정방형 선형 탄성체로 가정하였다. 인체내 대부분의 soft tissue는 비선형 점성탄성체로 간주되고 있으나 [5] 각막은 다른 것들과는 달리 정상생리적환경에서는 변형도가 극히 작고(1% 이내) 수술직후는 점성효과를 무시하여 위의 가정을 채택하였다. 또 축대칭 가정하에 각막 단면의 반만을 채택하였다. (그림 1)
수술이전의 기하학적 형상은 실험데이터[1]에 기초를 두었고 각막의 가장자리를 변위와 회전을 공히 구속하였다. 각막 내부에 면 압력을 주어서 안압을 나타내었다.

2.2 기준 모델의 설정

여기서 기준 모델이라 함은 수술전 각막 중심부의 곡률반경을 계산하기 위함이다. 따라서 그림 1의 형상에 정상평균안압(17mmHg)을 부과하여 변형 후의 외면의 형상을 2차식으로 표시하여 각막 중심부에서의 곡률반경을 계산하였다.

2.3 수술 모델의 선정

레이저로 각막 중심부의 일정면적을 제거했을 때 그 제거면적을 크게 두가지로 가정하였다. 첫째는 평면상태이고 둘째는 원만한 곡면을 이룰 때이다. 첫번째 경우는 수술 후 측면의 모양이 일직선이 될 것이고, 두번째는 곡선이 될 것이다. 두번째 경우는 곡선을 다시 2차식으로 표시하였다. (그림 2)

각 경우 공히 각막의 중심부에서 측정된 제거된 두께를 변화시켜 그 결과를 임상결과와 비교하였다. 두 경우의 결과(그림 3,4)가 서로 상반되는데 두번째의 결과가 그 경향이 임상결과와 일치하였다[3]. 즉,수술 두께가 클수록 수술효과가 좋다. 따라서 두번째 경우를 기초로 수술시 관계되는 각 요소의 변화에 따른 수술 결과 경향의 예측을 시도하였다. 수술의 면적은 직경 5mm, 절단두께는 0.06mm로 하였다.

2.4 Young's Modulus

사용된 Young's Modulus의 값은 실험치에 기초하였다[1]. Young's Modulus가 증가함에 따라 각막 중심부가 더 편평해지는 현상을 예측할 수가 있었다.(그림 5) 즉,단단한 각막일수록 수술 효과가 증대된다.

2.5 수술부위의 크기

수술의 두께 0.06mm하에서 수술부위의 크기 변화에 따른

수술의 효과를 예측하였다. 일반적으로 직경이 4-7mm가 채택되고 있다. 그림 6에서 보듯이 수술부위가 커질수록 수술의 효과가 감소되는데 이는 임상경험과 일치한다[3].

2.4 방사상 각막 절제술과의 비교[2]

그림 7에서 유한요소법에 의한 수술 모델의 결과를 표시하였다. 정상적인 시술시에 최고 10%이하의 수술효과를 예측하였다. 따라서 엑시머 레이저수술이 보다 효과적이라는 것을 알 수가 있다.

3. 결 론 및 토 의

전술한 바와 같이 본 연구의 목적은 근시교정용 엑시머 레이저수술의 역학적 모델 정립의 시도에 있다. 본 연구의 결과가 각 요소에 따른 결과를 비교할 때 비록 정량적으로는 임상경험과 일치하지는 않으나 그 경향은 만족스럽게 일치하고 있다. 따라서 유한요소법에 의거한 수술 모델 개발의 가능성을 충분히 제시하고 있다고 여겨진다.

보다 정확한 모델의 개발을 위해 다음 사항이 고려,연구되어야 될 것이다.

- (1) 각막 물성치에 대한 연구로 인한 보다 정확한 물성방정식의 정립이 필요하다. 즉, 비선형,점성에 대한 연구가 필요하다.
- (2) 수술전 각막모양,안압등이 각 환자별로, 특히 나이에 따라 다르므로 기준모델이 환자별로 다를 수가 있다.
- (3) 유한 요소법에 필요한 구속조건, 특히 가장자리의 움직임에 대한 연구가 또한 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) T.J.Shin, "The Mechanical Properties of the Human Cornea", Ph.D. Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, U.S.A., 1992
- 2) R.P.Vito, T.J.Shin and B.E.McCarey, "A Mechanical Model of the Cornea : The Effects of Physiological and Surgical Factors on Radial Keratotomy Surgery", *Refractive & Corneal Surgery*, Vol.5, March/April, 1989, pp.82-87
- 3) 김 재호, "엑시머 레이저의 안과 영역 응용", *J. of the Korean Medical Association*, Vol.35, No.1, 1992, pp.119-124
- 4) I.Fatt, "Physiology of the Eye", Butterworths, Boston, U.S.A., 1978. Chap 6.
- 5) Y.C.Fung, "Biomechanics : Mechanical Properties of Living Tissues", Springer-Verlag, NY, U.S.A., 1981. p.211

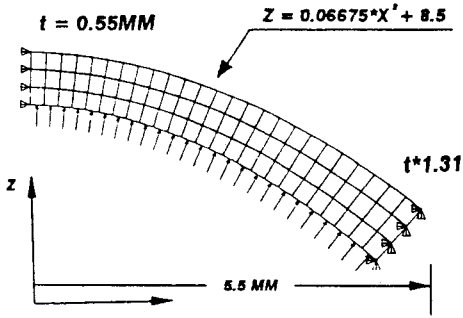


그림 1 축 대칭 가정에 의한 각막의 형상과 구속조건
 Fig. 1 Geometry and boundary conditions adopted based on the axis-symmetry

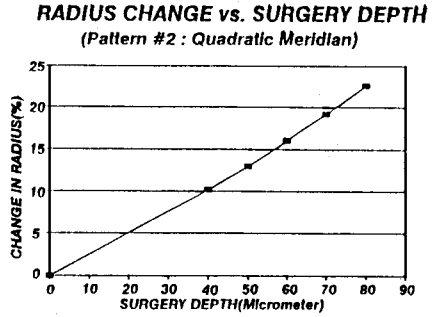


그림 4 두번째 경우의 수술 깊이에 따른 효과
 Fig. 4 The effect of surgical depth for pattern#2

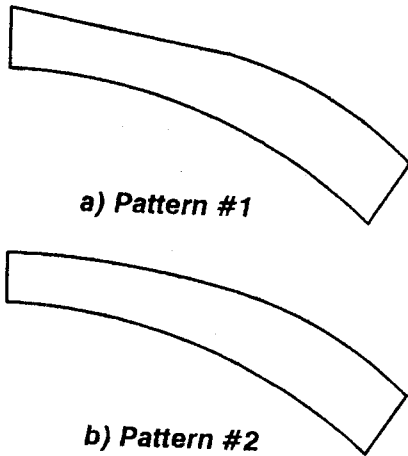


그림 2 가상된 두 가지의 시술형태
 Fig. 2 Two types of the surface after surgery

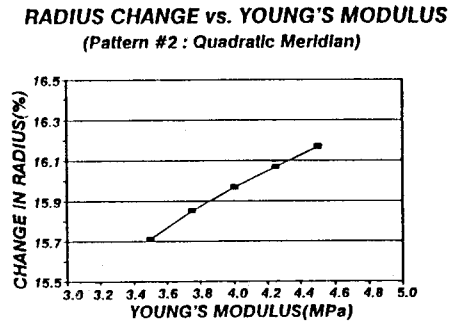


그림 5 Young's Modulus의 변화에 따른 수술 효과
 Fig. 5 The effect of Young's Modulus

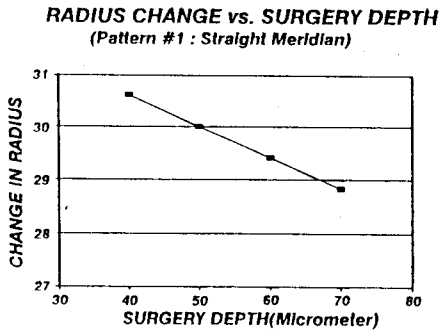


그림 3 첫번째 경우의 수술 깊이에 따른 효과
 Fig. 3 The effect of surgical depth for pattern#1

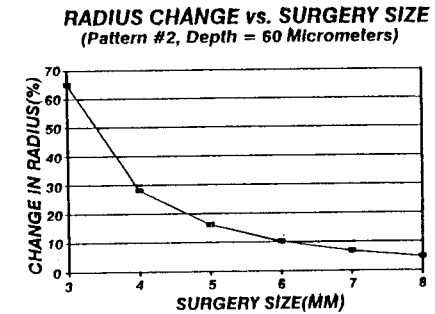


그림 6 수술 면적에 따른 수술 효과의 변화
 Fig. 6 The effect of various surgical size

Simulation of RK (Vito et al., 1989)

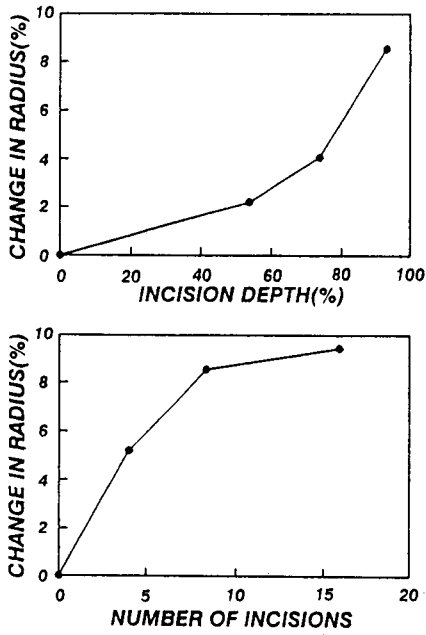


그림 7 유한 요소법에 의한 방사상절제수술 결과의 예측
(계체 허가 받음)

Fig. 7 Finite element based computer simulation of
radial keratotomy surgery (adopted by permission)