

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.⁶
 A61F 9/013
 A61B 19/00

(45) 공고일자 2005년07월21일
 (11) 등록번호 10-0484620
 (24) 등록일자 2005년04월13일

(21) 출원번호	10-1997-0709176	(65) 공개번호	10-1999-0022734
(22) 출원일자	1997년12월08일	(43) 공개일자	1999년03월25일
번역문 제출일자	1997년12월08일		
(86) 국제출원번호	PCT/AU1996/000257	(87) 국제공개번호	WO 1996/40027
국제출원일자	1996년05월03일	국제공개일자	1996년12월19일

(81) 지정국

국내특허 : 아일랜드, 오스트레일리아, 캐나다, 중국, 일본, 뉴질랜드,

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 리히텐슈타인, 독일, 덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투칼,

(30) 우선권주장 08/476449 1995년06월07일 미국(US)

(73) 특허권자 알핀스 노엘 아미
호주 3192 빅토리아 셀튼행 체스털빌 로드 7

(72) 발명자 알핀스 노엘 아미
호주 3192 빅토리아 셀튼행 체스털빌 로드 7

(74) 대리인 백남훈

심사관 : 최승삼

(54) 굴절 및 각막지형으로 측정되는 최소난시값을 외과적으로 얻기 위한 방법

요약

환자 눈의 난시를 교정하는데 있어서, 그 난시값은 지형과 굴절로 측정하고 지형과 굴절로 측정한 난시에 대한 목표유도난시값의 합계치는 굴절난시값과 지형난시값을 합산하거나 그 반대의 방법으로 얻는 외과적 치료방법. 각각의 목표난시값은 합계값에 근거하여 얻고, 외과적 치료는 합계값을 조정하는 목표유도난시값에 따라 성취되고, 합계가 최소가되는 각각 영(0)이 아닌 지형과 굴절에서의 목표난시값에 의해 제공된다.

대표도

도 17a

명세서

기술분야

본 발명은 외과의사들이 환자들의 난시를 교정할 수 있도록 정보를 제공하고, 외과의사들이 전문 기술과 수술 성공률을 향상시키는데 이용할 수 있도록 난시 교정 외과 수술 관련 데이터를 제공하는데 사용되는 난시분석법 및 각막 수술 시행 장치와 관련된 것으로서, 더욱 상세하게는 환자 눈의 굴절 및 각막 지형에 의한 측정(refractive and topographical measurements)을 고려하여 외과수술로 난시를 교정하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

현행의 난시분석법은 수술전 상태로부터 수술후 결과를 얻는 과정에서 수술로 유발되는 벡터 변화의 계산에 한정되어 있었다.

이것으로 전체적인 유도된 난시와 눈에 작용하는 벡터 힘 방향을 측정할 수 있고, 일련의 수술들을 비교, 분석할 때 평균적이고 전체적인 수술 유도 난시를 계산할 수 있다. 그러나, 수술로 유도된 난시의 축들은 일반적으로 180도 호의 범위 안에서 상당히 변한다. 이것은 대비 벡터들 또는 부분적으로 반대되는 방향의 벡터들의 다양한 합계 안에서 서로서로 상쇄됨으로써 벡터들의 평균적인 방향의 변화 측정할 수 없기 때문에 일련의 수술 동안에 난시의 변화에 대한 의미 있는 비교를 매우 어렵게 만든다.

어떤 외과의사들은 각 환자들의 결과들을 개별적인 표로 만들고, 의사의 판단에 따라 그 중 하나를 선택하고 그것에 의존하여 수술을 시행하였고, 어떤 외과의사들은 그 결과들을 종합하여 수술을 시행하지만, 유도된 난시 벡터들이 다양한 방향을 갖고 있기 때문에 그룹을 지어 유도된 난시 벡터의 동향을 추론하는 방법은 부적당하다.

각도들의 평균을 응용하는 방법은 축들의 동향을 측정하는데 효과가 없으며, 수술 전부터 수술 후까지의 난시 상태의 축들의 변화를 측정하는 방법 또한 효과가 없다. 이 방법은 또한 성공적이거나 바람직한 수술 결과를 냉지도 않으며, 더욱이 수술의 목적을 달성하기 위한 범위에 해당하지도 않는다. 이러한 구성 요소가 실험되고 관찰된 축들 사이의 코사인의 차이 만큼이나 다양한 근사치를 소개함으로써 축 변화 정도의 크기를 교정하는 복잡성을 제시하기 위한 한 실험이 행해졌다. 이 교정된 크기의 값은 이를바 "직절한" 축인, 축의 원주 90도 지점을 절개하여 측정한 수술 유도 난시의 합계로 대용되었다. 모호성을 해소하고, 네일러(Nayler) 표를 본질적으로 재구성하기 위하여 약간의 수정을 가한 컴퓨터 프로그램에 대입한 이를바 네일러(Nayler)식을 프로그램화 한 것이다.

수술 유도 난시의 계산 공식은 다른 각들에서 축을 가진 두 개의 평면-원통 렌즈(plano-cylindrical lenses)의 합성으로부터 유래하는데 난시 크기와 축의 변화를 확립하기 위하여 도식적인 방법을 사용하던 일부 외과의사들이 이 방법을 사용했다. 제프(Jaffe)와 클라이만(Clayman)은 벡터 분석에 의하여 수술 유도 난시의 계산 공식과 수술 전부터 후까지 각막 난시의 알려진 값을 가진 그 축을 측정하기 위하여 직각 극 좌표(rectangular and polar co-ordinates)를 사용한다.

에울러(Euler)의 구부러진 평면들에 관한 정리(theorem of curved surfaces)에 대한 마틴(Martin)과 웰포드(Welford)의 유도에 근거하여 홀(Hall)은 유사식을 유도하였다(1827년 에어리(Airy)에 의해 조사됨). "원통형 또는 원환체의 표면을 갖는 어떤 두 개의 수직 단면도의 곡률의 합은 일정한 값을 갖는다"는 에울러(Eular)의 정리는 제프(Jaffe)와 내서(Naeser)의 벡터 분석법을 연결시킨다.

내서(Naeser)의 방법은 난시의 축이 90도 또는 180도 경선에 있지 않을 때 발생하는 난시의 극값을 계산하고, 이 방법은 (횡단 난시 각막 절개를 하거나 하지 않은) 백내장 수술 및 이식 수술과 같은 극점의(규칙에 맞고 맞지 않는) 변화를 유도하는 수술의 결과를 해석하는데 처음으로 사용된다.

난시는 시각적인 예민함을 감소시키고 응시함(glare), 단안 복시증(monocular diplopia), 안정피로(asthenopia), 찡그림(distortion)과 같은 증상을 일으키는 굴절 이상이다. 근 몇년 동안 난시 조절 및 교정은 굴절 수술, 백내장 수술 및 각막 수술과 깊은 관련이 있었다. 단독 또는 결합된 수술로서 난시의 감소 또는 제거는 난시를 구성하는 부분의 크기와 축에서의 난시의 변화에 대한 이해를 습득해야만 가능하다. 현행 분석 기술로는 짹지어진 그룹들의 일련의 수술 동안에 또는 단독 수술 동안에 크기와 축을 따로 비교하지 못한다. 그러나 이 기술은 난시 수술을 수행할 수 있는 유일한 방법이기도 하다. 우리는 보다 바람직한 기술을 이용하여, 수술의 목표를 달성시키는데 있어서의 실패가 개개의 환자의 요인 때문인지 아니면 기계 또는 기술적 오류 때문인지 결정할 필요가 있다.

현대 레이저 기술들은 이전에는 가능하지 않았던 복잡한 수술들을 진행하는데 있어서의 수정을 가할 수 있게 하였는데, 이는 우리가 정확히 양을 재고, 과학적으로 그 결과를 평가할 수 있도록 하는 분석 체계를 요구한다.

발명의 요약

본 발명은 굴절 및 각막의 지형에 의한 난시의 측정(refractive and topographical measurements)을 고려하여 환자의 눈에 있는 난시를 외과 수술로 교정하는 방법에 관한 것으로,

환자 눈의 각막 지형에 근거하여 환자 눈의 난시 축과 크기를 측정하고

상기 눈의 굴절 교정에 근거하여 환자 눈의 난시 축과 크기를 측정하고

굴절 성 난시 측정과 지형 성 난시 측정이 두 가지에 예 근거하여 외과적 매개 변수를 결정하고

상기 외과적 매개 변수에 따라 외과적으로 눈을 치료하고

상기 외과적 매개 변수는

a) 굴절과 지형에서 각각 영이 아닌 목표 난시 값을 얻기 위해, 한편으로는 지형으로 측정한 난시 값을 굴절로 측정한 난시 값에 더하고, 다른 한편으로는 굴절로 측정한 난시 값을 지형으로 측정한 난시 값에 더하고,

b) 상기 한 두 개의 목표 난시 값에 기반하여 목표한 굴절 난시 값과 지형 난시 값의 합이 최소가 되도록 상기 외과적 매개 변수를 확립하고,

그리하여 수술 후 눈의 난시가 지형과 굴절로 측정할 때 최소값이 되게 하는 것으로 난시 값들을 합하는 방법은 각각의 난시 값들을 서로 벡터적으로 빼는 것으로 이루어진다.

본 발명은 또한 굴절 및 각막의 지형에 의한 난시측정을 고려하여 환자 눈의 난시를 외과수술로 교정하는 방법에 관한 것으로,

환자 눈의 각막 지형에 근거하여 환자 눈의 난시 축과 크기를 측정하고,

상기 눈의 굴절 교정에 근거하여 환자 눈의 난시 축과 크기를 측정하고,

굴절성 난시측정과 지형성 난시측정, 이 두가지에 근거하여 외과적 매개변수를 결정하고,

상기 외과적 매개변수에 따라 눈을 외과적으로 치료하고,

상기 외과적 변수는

a) 굴절과 지형에서 각각 영이 아닌 목표난시값을 얻기위해, 한편으로는 지형으로 측정한 난시값을 굴절로 측정한 난시값에 더하고, 다른 한편으로는 굴절로 측정한 난시값을 지형으로 측정한 난시값에 더하고,

b) 상기 외과적 매개변수는 두개의 상기 목표 난시에 기반하여 확립하고,

c) 각막을 두개의 양분체로 간주하고, 각 양분체마다 독립적으로 상기 외과적 매개변수들을 결정하는 것으로 이루어진 외과적 난시교정 방법이다.

본 발명은 굴절 및 각막의 지형에 의한 난시 측정을 고려하여 환자 눈의 난시를 외과수술로 교정하는 방법에 관한 것으로,

환자 눈의 각막지형에 근거하여 환자 눈의 난시축과 크기를 측정하고,

상기 눈의 굴절 교정에 근거하여 환자 눈의 난시축과 크기를 측정하고,

굴절과 지형 이 두 방법에 의한 난시측정에 기반하여 외과적 매개변수를 결정하고,

지형과 굴절로 측정하여 얻어지는 최소의 결과로 생기는 난시 또는 난시축이나 또는 눈의 각각 대칭의 정해진 변화(shift)를 만들어낼 외과적 매개변수를 얻기위해 지형과 굴절에 근거하여 측정한 난시값을 결합하여,

상기한 외과적 매개변수에 따라 눈을 외과적으로 치료하는 방법에 관한 것이다.

발명의 상세한 설명

결과들을 측정하는데 사용한 무작위 환자에 대한 난시값들은 도 1에서 보여지고 있으며, 이것들은

(1) 수술전 난시 ; 가장 경사진 축 Θ_1 에서 크기 K_1 디옵터

(2) 목표 또는 겨냥된 난시 ; 가장 경사진 축 Θ_2 에서 크기 K_2 디옵터

(3) 성취된 난시 ; 가장 경사진 축 Θ_3 에서 크기 K_3 디옵터

이 때 K_1 , K_2 , K_3 는 가장 경사진 축들 Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 에서 가장 경사졌을 때와 가장 평평할 때의 각막 곡률의 굴절광학적 차이(dioptric difference)이다.

예를 들면 수술 전 난시가 20. 에 4.00디옵터이고, 목표-겨냥된 난시가 70. 에 0.75 디옵터라면, 성취된 난시는 125. 에 1.25 디옵터이다.

난시는 일반적으로 0. 에서 180. 방향에서 표시된다. 이 표시는, 수술 전 5. 에서 수술 후 175. 의 난시 변화가 그래프상에서 시각적으로나 수치상으로는 170. 변화한 것처럼 보이지만 사실상 단지 10. 만 변화한 결과들에 대한 해석을 복잡하게 한다.

각들을 두 배로 하는 것은 각각 좌표가 사용되도록 결과들을 360. 방향 안에서 검토할 수 있도록 한다. 각들을 두 배로 하는 것은 수술전 난시값, 목표, 겨냥된 난시값과 성취된 난시값사이의 차이들에 대한 해석을 간단하게 하고, 또한 수술 벤더들의 크기와 방향을 결정하는데 필요하다. 도 2에서부터 4는 도 1에서 보여진 각들이 두 배한 두 배 각 벤더 도식을 보여준다.

각들과 크기들을 계산하기 위하여, 각 좌표들은 우선 각각 좌표로 다음과 같이 변환한다.

$X_1=K_1$ 코사인 ($2\theta_1$)

$Y_1=K_1$ 사인 ($2\theta_1$)

$X_2=K_2$ 코사인 ($2\theta_2$)

$Y_2=K_2$ 사인 ($2\theta_2$)

$X_3=K_3$ 코사인 ($2\theta_3$)

$Y_3=K_3$ 사인 ($2\theta_3$)

여기서 : X_1, X_2, X_3 는 360° 벡터 도식에서 X 축 좌표들이고, Y_1, Y_2, Y_3 는 Y축 좌표들이다.

도 5는 목표, 겨냥되거나 목표 유도된 난시 벡터, 수술로 유도된 난시 벡터와 그 계차 벡터를 보여준다.

수술전 난시(1), 목표 난시(2) 및 성취된 난시(3) 난시들의 X 및 Y축 좌표들 사이의 차이는 그려므로 :

$X_{12}=X_2-X_1$

$Y_{12}=Y_2-Y_1$

$X_{13}=X_3-X_1$

$Y_{13}=Y_3-Y_1$

$X_{32}=X_2-X_3$

$Y_{32}=Y_2-Y_3$

난시 벡터들의 두 배-각 값들은 X 및 Y 축들의 계차들을 사용하여 계산한다

$\Theta_{12d} = \arctan_{1212}$

$\Theta_{13d} = \arctan_{1313}$

$\Theta_{32d} = \arctan_{3232}$

아래 첨자 d는 두배각(double angle)을 말한다.

아크탄젠트 계산은 1 및 4사분면안에서의 값으로 귀결한다. 즉, 그 각들이 정방향인지 역방향인지 구별하지 않는다. 180° 교정은 필요한 각이 사실상 2, 3사분면안에 있기 때문에 (아래 보여지는) 크기를 음수값으로 계산할 때 필요하다.

난시 벡터 K_{12} (목표 유도 난시), K_{13} (수술 유도 난시) 및 K_{32} (계차 벡터의 크기)는 이렇게하여 계산할 수 있다 :

$K_{12} = 1212d$

$K_{13} = 1313d$

$K_{32} = 3232d$

K_{12}, K_{13} 및 K_{32} 에 대한 양수값 및 음수값은 가능하다. 양수값들은 Θ_{12d} 와 Θ_{13d} 의 값들을 180°로 조절할 필요가 있음을 나타낸다. 일단 각들을 교정하면, 크기들에 대한 절대값을 사용한다.

위의 계산 방법은 아래와 같이(도 5에 따른) 수술 유도 난시의 크기를 결정하기 위하여 코사인의 법칙을 사용했던 제프(Jaffe)와 클라이만(Clayman)에 의하여 채택되었던 방법과는 다른 것이다 : $K_{13} = (K_1^2 + K_3^2 - 2K_1K_3 \cos 2(\theta_1 - \theta_3))^{1/2}$

코사인의 법칙을 사용하는데 있어서의 문제는 계산된 값에 대한 표시가 명확하지 않고, 관행에 의하여 양수로 간주한다는 것이다(즉 -4제곱의 제곱근은 +4로 계산된다).

K_{12} , K_{13} 및 K_{32} 를 결정하기 위해 사용한 다른 계산법은 양수값이거나 음수값이건 간에 코사인의 법칙을 통하여 얻은 것과 동일한 절대값으로 귀결된다. 양수값은 Θ_{12d} , Θ_{13d} 또는 Θ_{32d} 에 대해 계산된 값을 조절할 필요가 없다는 것을 뜻한다. 음수값은 필요각이 계산된 각과는 다른 180° , 즉 2,3 사분면안에 있다는 것을 뜻한다.

만약 코사인의 법칙을 사용한다면, 180° 교정을 Θ_{12d} , Θ_{13d} , Θ_{32d} 에 대한 두배각 값에서 해야할 때 측정을 위하여 부수적인 계산과 실험이 필요하다.

벡터 각들 Θ_{12d} , Θ_{13d} , Θ_{32d} 에 대해 계산된 값들은 두배각 벡터 도식으로 유도한다. 실제적 벡터 각들은 그 크기의 반이다.

$$t_{12} = t_{12d}$$

$$t_{13} = t_{13d}$$

$$t_{32} = t_{32d}$$

각의 오차는 수술유도난시 벡터가 목표유도난시 벡터보다 더 반시계방향에 놓여있을 때 양수적인 것으로 표현되고, 그 변화가 더 시계방향에 놓여있으면 음수로 표현된다(도 7 참조). 만약 수술유도난시 벡터가 목표유도난시 벡터보다 크면 오차 크기는 양수로 표현되고, 작다면 음수로 표현된다.

각의 오차는 수술유도난시와 목표유도난시에 대한 두배각으로부터 가장 쉽게 계산할 수 있다(도 5). 0° 에서 180° 에 있는 단일-각 벡터 도식(도 7)에서, 각은 벡터들 사이의 각으로 나타난다. 그러나, Θ_{error} 의 절대값이 90° 보다 크면, 180° 에서 큰 각을 뺀 것에 작은 각을 더해서 각이 0° 에서 90° 의 범위안에 있도록 조절한다.

각의 오차는

$$t_{\text{error}} = t_{13d} - t_{12d}$$
로 계산한다.

$$\text{크기의 오차는 } K_{\text{error}} = K_{13} - K_{12} \text{로 계산한다.}$$

계차각은 성취된 결과로부터 목표 또는 겨냥된 결과에 도달하는 것을 유도하는 난시 교정술의 수치로 표현된다; 그것의 동작 방향은 점3 부터 점2까지이다.(도 5)

계차 벡터 각은

$$t_{\text{diff}} = t_{32}$$
이다.

$$\text{계차 벡터 크기는 } K_{\text{diff}} = K_{32} \text{이다.}$$

각의 오차가 목표 난시 벡터 및 수술 난시 벡터와 연관된 데 비하여, 각의 교정은 목표, 겨냥되고 성취된 난시와 연관된다. 목표, 겨냥된 난시각과 성취된 난시각들 사이의 차이는 각의 교정으로 명확해진다.

각의 교정은 $\Theta_3 - \Theta_2$ 이다.

양수값은 그 결과가 목표의 반시계방향에 있다는 것을 뜻하고 음수값은 그 결과가 더 시계방향쪽에 있다는 것을 뜻한다. 그 값은 수술전 난시와는 관계없는 것이다.

각의 교정이 최종 난시 결과의 측정이기는 하지만, 난시수술 성공을 결정, 비교하는데 있어서 각과 크기의 오차값만큼 유용하지는 않다.

조절계수는 목표, 겨냥된 난시 벡터들과 성취된 난시 벡터들 사이의 변화에 대한 지난 흐름들을 고려하는데 미래 난시값을 대입시킨다. 조절계수는 : K_{12}/K_{13} 이다.

성공 지수는 계차 벡터의 크기와 목표 유도 난시 벡터의 크기에 대한 것으로 성공지수는 : K_{32}/K_{12} 이다.

성공 지수는 눈안에서 난시 변화를 유도하는 실험을 할 때만 사용할 수 있다.

난시와는 달리, 벡터들은 측정할 수 없고, 계산만 할 수 있다. 벡터들은 수술의 항로 표시와 같아서 앞으로의 외과수술의 방향과 지난 외과수술의 성공을 나타낸다.

계차벡터는 그것이 계산된 한 쪽 눈에서만 유효하다. 그러나, 이 벡터 하나만의 크기를 활용하는 것은 수술 성공을 예측하고, 축의 방향을 고려하지 않을 때 다수의 수술들사이의 통계적 분석을 위한 유용한 근거를 제공할 수 있다(이는 눈의 일련의 움직임동안 평균적인 전체적 유도 난시를 측정할 때 수술 유도 난시를 평균내는 현행법(제프(Jaffe)의 방법)과 유사하다). 그것은 특히 성취된 크기와 축의 차이를 나타낸다. 그 각은 두 배 각 벡터 도식에 대하여 반이다; 180°. 차트(chart)에 그 각의 크기를 적용하면 실제적인 방향안에서, 그 눈에 대하여 겨냥된 결과를 이루려는 "톱-업(top-up)" 수술을 필요로 하는 굴절광학 교정(diphotric correction, 기울어진 수치와 그것의 축)을 설명하게 되는 것이다.

디옵터 단위의 크기로 벡터 도식에서 겨냥된 결과들과 성취된 결과들 사이의 전체 벡터 거리를 측정한다.

크기와 각의 오차는 다수의 굴절 수술 과정의 일련 동안에 측정할 수 있고, 직접적으로 비교할 수 있는 두 개의 표준화된 매개변수로 개개의 과정의 흐름을 측정할 수 있다. 통계적 분석을 이용하여 평균적이고 표준적인 편차값들을 유도할 수 있다. 이 방법은 수술상의 오차의 구성요소인 크기와 축을 분리하고 겨냥된 결과를 성취하는데 필요한 원래의 수술 계획에 대한 수정을 뜻하는 것으로, 그것으로 인해 이후의 수술에 대한 기술을 향상시킬 수 있다.

수술들의 일련의 성공으로 평균적인 크기와 축의 오차가 0에 얼마만큼 가까운가를 측정할 수 있다.

현재 외과수술 방법은 크기와 축을 분리 수정하기 위해 사용된다,

크기에 대하여:

- * T-탄젠트 교차값의 변화
- * 광학범위(optical zone) 넓이의 감소 또는 증가
- * T-교차선의 길이 및 깊이의 변화
- * 이러한 각각의 기술을 적용하는 엑시머레이저에서 절개마스크(ablatable mask)의 다수 또는 소수축 두께의 넓이 수정

축에 대하여 :

- * 수술전 크기 이상으로 난시를 교정하여 가장 경사진 축을 90° 까지 변화시킴
- * 가장 경사진 축으로 부터 T-교차선을 상쇄한다,

지명된 굴절검사와 난시 목표를 이루기위해 TIA벡터를 사용하는 미래 엑시머레이저 기술이 각막의 가장 경사진 경선으로부터 측정된 양만큼 타원이나 절개 마스크를 로테이트 할 가능성이 있다.

a) 오차크기

오차크기는 SIA(수술유도난시)벡터와 TIA(목적하는 난시)벡터사이에 길이나 크기상의 차이이다(도 7참조). 만약 SIA벡터가 TIA벡터보다 길면 교정초과현상이 일어나며, 짧으면 교정미달현상이 생긴다.

b) 오차각도

오차각도는 수술전 난시값의 점(1)에서의 TIA벡터와 SIA벡터에 의해 벡터 도면(도 5)에 범위정해지는 각의 반이다. 예를들어 기술적으로나 기계적인 오타를 나타내는 양립하는 축에 대하여 오차 바이어스가 있다면 각도 오차를 결정할 수 있다. 양이나 음의 값으로 무작위로 분포된 오차는 병원인자가 좀더 활동적이라는 사실을 암시하고 있다.

각의 부호는 각도 오차가 있을때의 위치를 가리킨다. 따라서 미래의 외과적 교정치료는 조절될 수 있다.

TIA벡터와 SIA벡터는 각각의 각을 이등분함으로써 180도 도면(도 6 및 7)에 표시되어 질 수 있다. 이것은 각도 오차와 위치를 결정한다. 여기서 두 벡터사이의 분리는 각도 오차이고 요구되는 외과수술 축 위치의 교정은 목적하는 위치로 부터 유도된다.

교정의 각은 단지 목적하는 난시와 달성되는 난시사이 각이다.

목적하는 난시축과 달성되는 난시축이 일치하면 교정각은 제로이다. 이것은 벡터도에서도 나타난다. 만약 축이 제로 좌표의 같은 면에서 일치하면 교정각은 제로이다. 만약 성취되는 난시와 목적하는 난시가 크기면에서는 다르지만 축에서 일치하면 잔여 벡터차이, 각도 오차 및 크기오차가 존재한다.

그러나 수술전 난시에 대한 목적하는 또는 성취되는 난시의 상대적인 접근에 따라 교정초과 또는 교정미달사이의 차이는 실질적인 값을 제공하지 않는 것 같다.

미래 외과수술의 개선을 위해 요구되는 조절을 측정하는 계수는 과거 데이터로부터 TIA 벡터를 SIA 벡터로 나눔으로써 얻을 수 있다. 이러한 계수는 일련의 안에서 평균값으로 구해질 수 있다. 만약 단위마다 매개변수가 다양하면, 경향은 명백하다. 보증된다면 미래 외과수술에서 교정되는 난시의 크기는 식별가능한 경향을 고려하므로써 조정될 수 있다. 수술전 난시의 크기에 조정 계수를 곱해 크기매개변수가 구해지며 그 값은 광학 외과수술결과에 요구되는 치료를 표시한다.

계수값 1은 크기오차가 없으며 치료에 이러한 조정을 할 필요가 없다는 것을 나타낸다. 1보다 큰 값은 크기가 미달교정되었으며 1보다 작은 값은 초과교정되었음을 나타낸다.

성공지수(Index of success)는 수술의 성공을 측정하는 데 유용하다. 성공지수는 다른 벡터에 정비례하며 TIA 벡터에 반비례한다. 비율은 수술전 난시의 크기와 관계없다. 성공지수가 0이라는 것은 외과수술 목표를 완전히 달성했다는 것을 나타내며 다른 벡터크기 또한 0이라는 것이 자명하다. 만약 각도오차나 크기오차 중 하나가 0이라면 성공지수는 0보다 큰 숫자가 될 것이다. 만약 성공지수가 0과 1사이라면 예를들어 0.2의 값을 가지면 수술목적의 80%를 달성했다는 것을 나타낸다. 만약 성공지수의 값이 1이라면 수술의 결과는 목적했던 것과 멀다. 난시상의 변화는 있을수도 없을수도 있으며 어느 쪽이든 눈은 난시상태의 개선없이 수술이 진행되므로 상태는 나빠진다. 성공지수가 1을 넘으면 결과는 수술전보다 더 나빠졌음을 가리킨다.

성공지수는 의사가 눈의 난시상태를 바꾸려고 할때 사용될 수 있다. 예를들어 눈에 근시와 약간의 난시가 있을때 의사들은 굴절오차를 교정하기 위해 구면교정을 유도하려고 선택할 수 있다. 경우에 따라 성공지수는 사용될 수 없다.

도 8에는 각막수술을 위한 장치가 그려져 있다. 이러한 장치는 일반적으로 잘 알려져 있으므로 상세하게 나타내지 않았다. 장치는 환자의 난시상태를 바꾸기위한 환자 각막의 하나이상의 절단선이나 곡선(cuts or contouring)을 나타내는 자외선 복사(193nm) 광선(beam)을 생성하기 위한 자외선 복사원 12를 가진다. 셔터 14는 복사원 12로부터 복사광선을 선택적으로 조절하는 역할을 한다. 조절메카니즘 16은 특정한 시간동안 특정한 세기의 광선을 제공하기 위해 복사원 12의 세기, 열려있는 시간 및 셔터 개폐속도를 조절한다. 조절 메카니즘 16과 연결되어 있는 마이크로프로세서 18에는 마이크로프로세서에 데이터를 입력하기 위한 입력 키보드 20이 포함되어 있다. 환자의 수술전 난시와 관련된 데이터와 목적하는 난시를 키보드 20에 입력하면 마이크로프로세서 18은 목적하는 난시와 수술전 난시의 차이값이며 복사원 12와 셔터 14를 조절하기 위한 조절 메카니즘 16에 출력명령을 만들기위한 벡터로서 사용되는 목적하는 난시벡터를 계산한다.

마이크로프로세서는 분석이나 미래 외과수술에서의 사용을 위한 본 발명의 방법에 따라 다른 매개변수를 계산하기 위해 이상 설명한 방법에 따라 프로그램되어 진다.

엑시머 레이저에 최근에 소개된 생략치료패턴의 난시 기준치수는 각막 모양을 정밀하게 변형시키는 것이 가능하고 난시 굴절오차를 맞추기위한 방법에 등급을 매긴다. 최근 사용되는 것은 각막표면상, 이차적으로 각막모양을 고려하여 유효성을 위해 조절되어지는 안경 굴절을 치료하는 것이다. 종종 안경과 각막 난시사이에 주목할 만한 차이가 있으며 이는 측정된 광학범위(optical zone)에 따라 다른 눈금이 다양한 타입의 각막곡률계로 얻어질 때 복잡해진다. 각막지형학기술의 최근 도입은 이러한 불일치를 더욱 중요하게 한다. 의미있는 테이터를 얻기위해서는 순차적인 눈금값을 위해 같은 타입의 기계가 사용되어야 한다. 사용가능한 각막지형학은 바람직하게 될 것이다.

만약 눈이 치료 매개변수로서 굴절계를 사용하여 치료되고 각막과 굴절 난시사이에 차이가 있다면 각막난시가 0이 아니라는 피할 수 없는 결과를 나타낸다는 것은 자명한 사실이다. 난시 각막곡률학, 이차적으로 굴절학상, 급경사에 탄젠트 절개를 적용하는 것이 용인된 방법이다. 필연적인 결과인 0이 아닌 (non-zero) 난시는 굴절에 의해 정해진다. 난시 각막곡률학 이후, 각막곡률계를 사용한 우리의 외과수술 노력은 만족할 만 하지만 환자가 단안복시, 사난시등과 같은 증상에 대해 불평하는 것이나 여전히 안경으로 난시교정을 하는 것은 여전히 실망스럽다.

각막은 돌출표면이며 규정난시가 존재할 때- 돌출 실린더 측이 180°에 놓일때- 그 수직경선에서 더 경사진다. 눈에서 가장 선명한 망막상은 수직경선에 놓인다. 솔나방은 이것이 스넬렌 타입으로 측정된 시각적명료도(acuity)에 잇점을 제공하는 것을 보여준다. 수학적방식에 의한 테스트는 약간의 근시의 경우 테스트 대상을 0.5 ~ 6.0미터 떨어져서 볼때 0.5D ~ 0.75D의 규정 난시가 최적이며 약간의 흐림현상이 있다. 눈기관속(束)을 제공하는 신경절 세포의 일시적 겹침은 상호간 피질상으로 표시된다. 그들은 망막의 수용체와 신경원세포섬유의 수직 중심 래프(raphe)에 위치하며 호의 1단위보다 크게 차지하면서 망막의 중심와(fovea)에 집중된다. 이것은 어떤 다른 경선에서 방위를 정하는 것보다 더 낮은 수직 목적물의 입체적인 역을 설명하는 메카니즘을 제공한다. 단안의 거리결정 단서는 두 목적물사이의 변위를 사용함으로써 얻어지며, 광극(light pole)과 같은 수직선의 곡선 단서로 가장 빈번하게 이루어진다. 덧붙여, 융합을 위한 사이클로디스파리티(cyclodisparity range)는 수평선분보다 수직선분이 길다.

많은 노력을 거듭하여온 것처럼, 우리의 원래 목적을 달성하는 데 있어서의 결함이나 성공을 평가할 수 있도록해주는 난시 외과수술의 목적에 대하여 언급하려 한다. 이러한 언급을 하므로써 우리는 SIA 벡터가 TIA 벡터와 어떻게 다른지 결정할 수 있다. 수술에 대한 비교분석은 벡터분석의 개념을 이용하므로써 가능하다. 왜냐하면 우리는 오차의 차이를 결정하고 미래 외과수술에 요구될 교정을 확인할 수 있기 때문이다. 외과수술을 더욱 정확하게 그리고 예언할 수 있게 될수록 결과의 범위도 좁아질 것이다.

TIA 벡터의 개념은 엑시머 레이저와 같은 기술을 이용하는 미래 난시외과수술에 있어서 중요하다. 먼저 언급한 것과 같이 난시 수술에 대한 과거 및 현재의 경향은 난시축이 90도이고 수술전 난시의 크기와 동일한 TIA 벡터 값을 효과적으로 이용함으로써 제로 난시를 이루는 데 목적이 있다. 각막은 TIA 벡터의 방향으로 급경사이며 난시의 경선에 평평하다.

제로난시는 계속적으로 난시적 목적이 될 것 같으나 제로난시를 이루는 것은 새로운 기술에 의해 생기는 미묘한 차이때문에 더이상 필수적이지도 합리적이지도 않는 무리한 제한이다. 어떤 바람직한 수술후 난시는 예를들어 상기 이유에 의해 0.5D ~ 0.75로 구해질 수 있다. 계산된 TIA 벡터를 이용하여 의도된 각막의 토로이달(toroidal)형상을 이루기 위해 요구되는 외과수술을 엑시머레이저의 적당한 소프트웨어 프로그램으로 조절될 수 있다.

0이 아닌 근시(non-zero astigmatism)는 굴절의 변화와 각막난시 사이의 대립의 피할 수 없는 결과이다. 각막경사 또는 굴절이 어떤 난시 수술에서의 일차 결정요소인지 아닌지에 대한 딜레마가 있다. 이 방법은 이러한 딜레마가 불가피한 난시가 유도되는 2차표면에 대한 최소한의 바람직하지 않은 결과를 수술전에 평가함으로써 해결할 수 있는가에 주목한다. 이것은 TIA 벡터가 다른 표면에 제로 난시를 이루기 위해 적용된다면 각각의 표면에 어떤 난시 결과가 생길까를 분석함으로써 해결될 수 있다. 그때 의사는 적용할 바람직한 TIA 벡터(또는 계산된 두벡터사이의 적절한 절충안)를 선택할 수 있으므로 굴절표면은 광학적으로나 생리적으로 가장 바람직한 방향으로 개조되는 0이 아닌 난시를 수용하게된다. 의사는 규칙에 맞는 난시에 가장 가까운 이차 결과 -90° 경선에 가장 가까운 급경사 굴절각을 갖는 -를 조작할 수 있는 일차치료를 수술전에 선택할 수 있다. 0이 아닌 결과 (non-zero goal)를 계산하거나 특정짓지 않고는 난시 외과수술이 얼마나 성공적일지 판단할 수 없다.

오차각도를 정확하게 계산하는 능력은 우리의 굴절수술 의료시설에 있어서 가장 취약한 부분- 수술동안 작동되는 혼미경을 통해 실시간 지형에 의해 가장 가파른 각막 경선을 명밀하게 확인할 수 없는 능력-을 노출시킨다. 이를 이루는 것은 치료에 있어서의 정확도를, 치료 매개변수를 계산하는 데 있어서 우리가 가지는 정확도에 접근하는 것을 가능하게해줄 것이다.

여기에서 설명하고 있는 방법은 난시전문의사에게 전에는 가능하지 않았던 부가적인 정보를 제공하고, 수술에 대해 수학적으로 정확한 평가를 내릴수 있게 하며 다른 눈과 다른 기술간의 비교가 가능한 매개변수를 사용할 수 있도록 한다.

이러한 매개변수들은 의사들로 하여금 난시 수술후 의도했던 바를 얻게해주는 수단을 확인할수 있게 한다. 우리는 난시 외과수술을 의미있게 그리고 비판적으로 분석함으로써 개선시킬 수 있었다. 특정한 오차를 규정할 수 있기때문에 한 각각의 오차 요소를 교정하는 수단들이 제공된다. 현재 기술들을 더욱 좋게 사용 할 수 있으므로 우리는 좀더 정확한 수술을 할 수 있다.

지형과 굴절측정을 고려한 난시교정에서의 문제 해결책을 자세하게 설명한다.

박수술(PARK surgery)을 받은 환자중 무작위로 뽑힌 100명의 환자들은 수술전에 검사받고 수술전 매개변수가 결정되어 졌다.

각막 표면에서의 굴절성 난시(R)는 표준 굴절레인에서 행한 잭슨 크로스실린더 검사(Jackson cross-cylinder confirmation)와 후정점거리(back vertex distance)와 연합근시(associated myopia)에 대한 적절한 교정과의 절(manifest refraction)에 의해 결정된다. 이는 평균 1.69D, SD 1.03D, 레인지 0.39D ~ 5.15D이다. 지형학적 근시(T)-TMS (토포그래픽 모델링 시스템, 컴퓨터드 애너터미 아이엔씨(Computed Anatomy, Inc.), 뉴욕소재)는 평균 1.83D, SD 0.96D, 레인지 0.2D ~ 5.5D이다. 수술전 크기의 T와 R값사이의 평균 절대 차이값은 평균 0.58D, SD 0.46D, 레인지 0.00D ~ 2.30D이며, 측은 11.93도, 12.03 SD, 레인지 0 ~ 78도이다. 지형적으로 측정한 난시의 크기는 환자 59명에서 굴절측정한 난시의 크기를 넘으며 굴절성 난시의 크기는 환자 41명의 지형적으로 측정된 난시의 크기를 넘었다. 지형적 난시 크기값에 대한 굴절성 난시의 분포는 도 9에 나타나 있으며 지형적 값이 굴절값(각막 표면)을 넘는 경향을 나타낸다.

지형적값과 굴절값간의 측 변이는 시계방향이나 시계반대방향의 경향을 보이지 않는다(평균 0.57도, SD 16.97도, 레인지 -78도 ~ 52도). 도 10에 나타난 분산된 점은 지형적 측과 관련된 변이들을 표시한다. 양의 값은 굴절이 지형학에 시계방향이 되는 것을 가리키며 음의 값은 시계반대방향을 가리킨다. 지형 또는 굴절간의 크기 차이는 지형적 측과 비교하여도 11에서 분산된 점으로 표시된다.

잔여난시는 굴절성난시와 각막난시사이의 측과 크기 변이들의 연합척도이다. 크기값과 방향값은 도 12에 나타나 있으며 빈도가 크고 크기가 60 ~ 120. 레인지인 경향을 보인다. 도 13에서의 크기변이, 도 14에서의 측변이에 대한 잔여 난시크기의 분산된 점들은 직선적인 상관관계를 나타낸다. 벡터 분석에 의해 얻어진 그룹의 잔여 난시 R은 평균 0.81D, SD 0.49D, 레인지 0.01D ~ 2.32D값을 가진다.

잔여난시는 환자 34명에서 1.00D를 넘었으며 이들중 7명은 지형적 난시의 수술전 크기값을 넘었다. 난시가 외과적으로 단지 굴절성 난시 매개변수에 의해 치료될때 난시는 각막에 대상을 두고, 후자 그룹에서는 존재하는 각막난시에서 증가를 목적으로 한다. 따라서 만약 단지 지형적 또는 굴절적 난시에 기초하여 제로 잔여 난시를 목적으로 한다면, 선택된 측정클래스를 바탕으로 한 수술에 따라 이루어진 난시는 제로에 가까워진다. 그러나 다른 방법으로 계산된 난시는 처음에 측정된 난시보다 높거나 같은 값을 가진다. 본 발명을 굴절성 난시 측정과 지형적 난시 측정 둘다를 고려한 수술치료 방법에 관한 것이다.

다음 예는 본 발명에 의한 방법을 이해하는데 도움이 될 것이며, 여기서 벡터는 난시 외과수술계획을 위해 분석된다. 전체 목표 난시를 각각 지형과 굴절 요소로 분배하고, 굴절과 지형적으로 측정한 최소 목표난시를 얻기위한 목표유도난시(TIA)를 선택하는 방법이 기재되어 있다. 다양한 최적의 비대칭적인 치료양상을 제안한다.

도 15a는 각각 굴절성(각막 표면) 난시 및 지형적 난시의 다른 크기값과 방향을 갖는 각막에 대한 예가 표시되어 있다. 굴절성 난시 R의 방향은 음값의 실린더의 파워 경선(양의 값 실린더의 원주축)에 그래프로 표시되며 굴절과 모양 비교에 용이하다. 굴절성 난시값을 갖는 모든 예는 플러스와 마이너스 실린더 표시법을 이용하여 계산된다. 굴절성 난시와 지형적 난시 각각을 교정하는데 필요한 각각의 경사값(steepeening force)은 각각의 난시 T와 R에 90° 방향이고 크기는 같은 목

표유도난시이다. 따라서 도 15b의 박스안에 보여지는 것과 같이 지형적으로 계산되는 지형적난시는 축 120에서 1.70D이며, TIA는 목표잔여 값이 0이 되도록 축 30에서 1.70D이다. 반면에 굴절성 난시 R은 축 107에서 1.40D값을 가지며(플러스 실린더 굴절)이며 목표 잔여 값이 0이 되도록 축 17에서는 1.40D이다.

도 15b의 두배각벡터도에서 굴절성 난시와 지형적 난시 각각은 벡터로 표시되어 있으며 TIA는 굴절성 난시와 지형적 난시에 대하여 반대의 위치, 즉 180°의 방위각을 가진다. 지형적인 측정(TIA T)과 방향(TIA R)을 위한 벡터 TIA는 지형적으로나 굴절에 의해 각각을 구형화(sphericize)하기 위해 필요한 값과 그 방향을 나타낸다. 잔여난시 (kTR)는 각각 표면에서의 굴절에 의해 측정된 전체 난시와 지형적값에 의해 측정된 각각 난시와의 벡터 차이값이다.

$$k_{TR} = k_R - k_T$$

예에서 $K_R - K_T$ 는 축 147에서 0.76값을 가진다.

각각을 구형화하기 위한 TIA를 선택하는데 있어 굴절성 효과는 도 16a에서의 목표 굴절 R을 결정하기 위해 벡터적으로 TIA를 수술전 굴절에 더하므로써 이를 수 있다. 목표 굴절은 잔여 난시와 같은 크기를 가지며 그것을 표시하는 선에 평행한다. 이와 비슷하게 지형적 목표 난시는 구면굴절과 수술전 지형을 결합하거나 합산하기 위해 지형적으로 계산된 난시 T에 벡터 TIA R을 더하므로써 결정되어 진다. 도 15A, 16a, 16b에서 화살표는 벡터의 방향을 가리킨다.

잔여 난시는 17a에서의 최고교정목표선에 대해 길이와 위치면에서 같다.

도 15에서의 잔여 난시의 크기, 도 16a의 목표 굴절, 도 16b의 목표 지형, 도 17의 최소목표난시, 도 17a의 최대교정목표라인은 모두 같다. 그리고 이러한 값을 나타내는 모든 선은, 벡터 결합을 적용하여 형성된 평행사변형에 의해 명시되어 있는 것처럼, 서로 평행하다.

지형적으로 결정되는 목표유도난시(TIA T)가 벡터상 도 16a에서의 잔여난시를 얻기위해 각각 측정된 난시값의 벡터 R에 더해질 때 이 잔여 난시는 도 16b에서의 잔여난시와 같다. 도 16b에서의 잔여난시는 굴절로 결정되는 목표유도난시와 지형적으로 측정된 난시값 T의 벡터값이다. 더불어, 서로 같은 값을 가지는 도 16a와 16b에서 결정되는 잔여 난시값은 도 17a에서의 최고교정 목표 선과 같다. 여기서 선택된 TIA는 TIA T와 TIA R의 중간값이다. 본 발명에 따르면 상기 조건을 관찰하므로써 수술후에 지형적으로 그리고 굴절로 측정되는 총 잔여 난시 T와 R은 최소가 될 것이다. 기본적으로 TIA가 TIA T와 TIA R의 중간에 있을 때 한 쪽이 원점이고 다른 한쪽은 최고 교정 목표 선에 있는 벡터에 의해 확정된다.

도 17a에서 중간에 있는 TIA는 TIA T와 TIA R의 경계선 범위안에서 결정될 수 있으며 그 벡터길이는 최고 교정 목표 선에서 끝난다. 중간 TIA의 굴절성 난시 R과 지형적 난시 T에 대한 상대적 근접은 도 17b에서 보여지는 치료의 강조선을 결정한다. 주된 지형적 매개변수와 굴절성 매개변수를 위한 최소 목표 난시를 이루는 TIA는 이 선에서 끝나야 한다. 이 때 어떤 선택된 TIA는 선택된 강조선에 따라 지형과 굴절사이에 분배된 최소 목표 난시를 없애기 위해 도 17a에서와 같이 굴절과 지형에 적용될 수 있다. 목표 굴절과 지형은 두배각 도면에서 서로 180도 즉 직선을 이룬다. 그러므로 총 크기는 눈의 광학 시스템에서 최소이다. 도 17a와 17b에서 T와 R의 총 난시 값은 0.76이다(도면 17에서, 0.50+ 0.26, 도면 17b에서 0.28+ 0.48).

TIA가 강조선(최고 교정 목표선을 가로지른다)에 종결되는 최적의 점을 결정하는 매개변수는 목표각각난시의 위치(방향)이다. 이번 예에서 경선 또는 목표 지형은 147°이다. 이것이 규정 방향 90°로부터 57°에 위치할 때, 의사는 도 19에 도시되어 있는 것과 같이 직선관계, 분배를 57/90 또는 지형에 기초한 치료목표(topography-based treatment goal)에 63.3%의 강조도를 사용하는 것을 결정할 수 있다. 결과적으로 TIA(도 17b)는 TIA R벡터(도 16b)와 비교하여 TIA T벡터(도 16a)에 상대적으로 근접위치에 자리잡는다. 도 17b의 박스안에서, 강조도가 지형적으로 63%이며, 굴절은 37도이다. 이것은 TIA 바로미터와 R과 T의 목표난시값을 결정한다.

만약 TIA가 최고 교정 목표선을 고려하지 않고 선택된다면, 총 목표 난시 (T+R) 최소값보다 크다. TIA가 최고 교정 목표 선에 종결될 때 보다 더 길어진다면 도 18a에서 도시되어 진 것과 같이 초과교정된다. 목표 난시 T와 R값은 수술전 지형과 굴절 값에 TIA를 적용하므로써 결정된다. 두 목표 값 T와 R이 더해지면 그 값은 $0.54 + 0.58 = 1.12$ 가 되며 이 값은 최소 목표 난시값 0.76보다 크고 다른것과 비교하여 직선(180도) 관계는 나타나지 않는다. 그러므로 도 18a에서와 같이 T와 R 사이의 각도는 180°가 아니며(86도), 반면 도 17a와 17b에서는 각이 180도이고 T와 R이 직선으로 놓여진다.

유사하게, 만일 목표 유도 난시를 최대 정정 목표선(도 18b)에 도달하도록 하는데 필요한 것보다 더 짧게 선택한다면 T와 R의 총합은 0.76최소값보다 더 큰 $0.3 + 0.63 = 0.93$ 이 될 것이다. 예를들면, "교정미달"의 난시에서 굴절 크기를 지형경선으로 선택하는 경우가 이에 해당한다. 합성적인 목표 난시(T&R)은 다시 T와 R 사이의 각도가 180°(51°)가 아닐 때 도달할 수 있는 최소치 보다 더 크다.

난시의 전체 교정은 단지 사용된 목표 유도 난시가 잔여난시와 같은 최소난시를 목표값으로 할때만 이루어 질수 있다(도 17a와 17b에서). 최소치의 초과에 있어서 난시 목표치는 최대 교정 목표선으로부터 선택된 목표유도난시가 나타내는 선 끝 거리의 증가 작용으로써 쌍곡선모양으로 증가한다.

도 18a와 18b에서 제시한 상황에서 "교정초과"와 "교정미달"은 수술 유도 난시와 목표 유도 난시 사이의 상관관계와 관련 있는 것이 아니라 목표한 변화와 바람직한 선택이 될 수 있는 것 사이의 비교와 관련 있다는 것을 숙지하라. 지형으로 굴절로 측정한 난시값 T와 R이 크기 그리고 혹은 축과 다를때 굴절과 지형 난시 목표값 T와 R은 0이 아니고 그들 벡터의 합계가 도면에서 보여진대로 난시값 T와 R과 각각의 목표 유도 난시 R값과 목표 유도 난시 T값 사이의 벡터의 차이와 같거나 유사하다는 것 또한 숙지해야 한다. 이는 지형적으로 굴절로 측정된 난시값 T와 R과 합계와 관련있다.

치료의 강조도(emphasis)는 백분율로 나타내지는 어떤 목표한 지형적 그리고 굴절적 목표점간의 상관 위치이다. 두 목표점이 모두 0일때 난시의 최대 교정치는 강조선이 최대 교정 목표선에 일치함으로써 가능하다. 치료의 강조도를 다만 목표 유도 난시가 강조도선과의 교점에서 끝날때만 분배할 수 있다.

도 17a와 17b에서 선택된 강조의 활용예는 도 19에서 그래프로 제시된 것처럼 직선을 따른다. 굴절수술시 치료의 강조도를 선택해야한다. 절개술 혹은 비절개술을 이용하는 요즘의 대부분의 난시 수술은 강조도선의 어느 한쪽 끝에서 선택한 목표유도난시로 행해진다. 바람직하게는 목표난시의 방향에 따라 수술 계획에서 지형과 굴절에 어느정도의 강조를 둘것이 나를 결정해야한다. 의사는 직선에, 목표난시의 사인 제곱에, 또는 다른 코사인 함수에 유착하는 강조도를 선택할 수 있다. 도 19 그래프의 선이 더 낮을수록 굴절에의 강조도가 더 커진다.

선택적으로, 의사는 존재하는 각막의 방향에 따라 어느정도의 기능퇴화(degradation)가 시각적 이미지에 가해지는가에 대해 통용되는 이해와 지식에 따라 치료강조도를 다양화 할 수 있다. 감지된 상의 질에 대한 효과는 또한 협동구형등가량(associated spherical equivalent)에 따라 변경될 수 있다. 도 17b의 주어진 예에서 선택된 활용예는 잔여 난시를 위한 "규칙에 따른(with the rule)" 방향이다. 목표 난시(지형적으로)에 대한 147°의 측은도 19에서 획좌표에 나타나고 이는 63%강조도에서 수직 강조도선과 교차한다. 이 63%값은 지형을 위한 선택이고 37%는 굴절을 위한 선택이다. 결과적인 목표유도난시가 도 17b에 점선으로 나타나고 그 그 매개변수들이 첨가상자에 있다.

이하 본 발명은 분석과 치료가 각각 눈의 상층과 하층의 양분체에서 이루어진다는 점에서의 비대칭적인 지형을 갖는 눈에 관하여 설명할 것이다.

도 20a에서 눈은 서로 다른 각각의 지형 난시값을 갖는 상층과 하층으로 양분되어 있는 것으로 보인다. 굴절난시값은 눈 전체를 통해 측정하므로 두 양분체에서 같다.

도 15a, 15b 및 17b와 관련하여 설명한 최적의 치료는 도 20a에서 각막의 상층 양분체위에 보여진다. 이것은 도 15a에서처럼 눈에 도식적으로 나타나는 매개변수들을 단각난시와 설명하는 외과수술의 벡터 도표이다. 극좌표를 이용하여도 도 15b, 18a, 18b에서처럼 양각 벡터 도표에 의해 제공되는 난시의 벡터적인 비교는 가능하지않다. 도 20a의 두 예에서 지형에 대한 외과수술 계획에서의 강조도는 도 19의 수직 관계를 따른다. 목표 난시가 규칙에 반하는 쪽(against the rule)에 점점 더 가까워질수록 구형 각막에을 얻으려는 외과수술 계획에서 강조도는 점점 더 지형에 두게되므로 바람직한 각막 난시를 목표로 하게된다.

두 양분된 각막간에 치료가 다르면, 각막형상에 적용되는 두개의 다른 목표유도난시의 굴절난시에 대한 효과를 결정하기 위해 개별적인 평가가 요구된다.

난시의 양측 경선 치료를 실행할 때, 굴절난시에서의 변화가 상층과 하층으로 양분된 두 치료 구성요소의 벡터의 합계가 되도록 치료벡터의 분리가 요구된다.

상층과 하층의 목표유도난시 지형 매개변수의 벡터 합계의 반이 벡터적으로 도 20c에서와 같이 양분체 모두에 있어서 굴절 난시값에 적용된다.

상층과 하층에서의 목표굴절난시를 나타내는 도 20a의 괄호값은 마치 각막이 비대칭인 것처럼 각막의 양쪽에 대해 상층 또는 하층값이든 단일 지형 값이 존재하는 경우에 각각 결정된다. 이 예에서, 90°에 가깝게 분리된 이 두 굴절값의 방향은 개별적 목표값보다 더 작게 결정된 치료 벡터로부터 산출한 단일 목표값이 되는 것을 볼 수 있다.

따라서 발명에 의하면 목표 유도난시순수값(TIA net value)은 각각 수술전의 난시 T와 R에 근거하여 상층과 하층 양분체로부터 얻은 목표유도난시값과 양분체의 강조도를 벡터적으로 평균하여 얻는다. 순수목표유도난시는 굴절적으로 측정된 0이 아닌 목표 난시를 얻기 위해 굴절적으로 측정된 수술전 난시R을 가지고 전체적으로 얻는다.

본 발명은 난시 크기를 변화시키지 않은채 난시축을 옮기는 치료에 관해 설명할 것이다. 이 치료는 눈에 "난시 회전력"을 이용하는 성질을 갖는다.

난시축에 비스듬한 45° 각도에서 각막난시가 있는 눈에 적용된 힘은 순전히 회전효과만을 발휘할 것이고 고유의 난시축에 급경사지게하거나 평평하게하는 효과를 갖지 않을 것이다. 접하는 힘이 증가할때 목표난시가 크기면에서 증가하는 곳에서 난시에 대한 이 힘의 효과는 도 21b에서 보는것처럼 두배각 벡터 도표에서 바로 알수있다. 가해지는 회전력이 증가할 때 수술전의 축 역시 회전력의 방향으로 45° 한도까지 위로 올라간다. 도 21b에서 다음 관계를 볼수 있다.

$$X1=K_1 \cosine (2\theta_1)$$

$$Y1=K_1 \sin (2\theta_1)$$

$$X2=K_2 \cosine (2\theta_2)$$

$$Y2=K_2 \sin (2\theta_2)$$

양극 벡터 도표에서 난시 벡터의 축과 크기는 다음 관계로 정의한다.

$$TIAaxis = \arctan_{212-1}$$

$$TIAmagnitude = \arctan_{21}$$

난시 회전력의 크기 (TIA회전력) :

$$^K_{\text{TORQUE}} = K_2 \sin(2\theta_2 - 2\theta_1)$$

만일 결과가 양수일 때는 힘은 시계반대방향이고 음수일 때는 시계방향이다.

수술전 난시축에 발생되는 경사짐(steepening)/완만함(flateenin)의 양은 다음과 같이 나타낸다.

$$^K_{\text{FLATEENING/STEEPENING}} = K_2 \cos(2\theta_2 - 2\theta_1) - K_1$$

이 예에서 만일 경사짐/완만함의 효과를 얻을 수 없을 경우 $^K_{\text{FLATEENING/STEEPENING}}$ 의 값을 0으로 잡는다. 만일 값이 양수일 때는 경사지게되었을 것이고 값이 음수일 때는 평평하게되었을 것이다.

경도의 변화만이 바람직하고 난시 크기에서는 무변화를 목표로 할 때 난시 방향의 어떤 변화는 목표 유도 난시 회전력과 함께 어느정도의 평평함의 양을 요구한다. 방향의 변화가 클수록 평편력의 비율은 커지고 회전력의 비율은 작아진다.

축의 변화 한계인 180°에서 요구되는 힘은 완전히 평평해지는 것이고 회전력 요소는 0이 된다.

변화를 평평함이나 경사짐 중 하나 그리고 회전력, 이 두 성분으로 나누는 것이 유용하다. 지형과 굴절의 차이가 있다는 걸 고려한다는 것은 필수적인 것이다. 예를 들어 굴절적 백내장 절개술을 어느 한 유형을 평평하게 하기 위한 "축위(on axis)"에 했을 때 다른 유형에 대해서는 "축밖(off axis)"이 될 것이며, 그 경우에는 평평하게하는 효과 뿐만 아니라 회전의 효과를 갖게 될 것이다. 비절개 굴절 수술을 할 때 어떤 치료는 T축 또는 R축에 맞지 않는 것처럼 하나 또는 양쪽의 유형에 평평함/경사짐과 회전 효과를 갖을 것이다.

경사짐과 평평함 없이 난시 회전을 얻기 위한 상쇄효과와 평평함과 경사짐이 회전력에 미치는 효과는 도 22a, 22b, 23a, 23b로 설명한다.

도 22a와 22b에서 α 는 존재하는 난시를 줄이기 위해 필요한 경사지게하는 힘으로부터 "축밖"에 있는 목표유도난시값이다.

$$^K_{\text{TORQUE}} = TIA \sin 2\alpha$$

도 21a, 21b, 22a, 22b에서 난시축에 45°인 곳(두배각 벡터 도표에서 90°)에 회전력을 적용함으로써 얻어지는 가파름과 평평함의 효과는 크기의 변화 없이 비트는 회전을 얻기 위해 각도 90-2α(도 22b)로 목표 유도 난시를 각이동함으로써 상쇄한다. 수치상의 예로, 난시가 1.40D의 크기를 갖고 축을 8부터 25°까지 이동하면, 이를 이루기 위해 목표 유도 난시는 0.83크기와 62° 축을 갖는다.

각각의 방향에 목표 유도 난시력으로 수술전 난시에 적용한 경사짐, 평평함, 시계방향 회전 및 반시계반대방향 회전의 효과는 도면들에서 보여진다.

난시 수술에서 의도한 축에 발생한 변화를 검사할 때, 수술의 평평함/경사짐의 효과는 도 23a와 23b에서 예시된 관계에 의해 결정할 수 있다. 각 Φ 은 절개축에 수술 유도 난시(수술로 유도된 난시)축과 목표 유도 난시축 90° 간에 마주 대한다.

$$^K_{\text{FLATEENING/STEEPENING}} = SIA \cos 2\Phi$$

이 방법은 그 경선의 위치에서 백내장 절개 수술(수술 유도 난시)의 난시 효과를 결정하는데 적용할 수 있다. 수술적 벡터를 이용하는 방법으로 결정한 수술 유도 난시의 평평함/경사짐 성분은 홀라데이(Holladay)와 내저(Naeser)가 체택한 원주의 렌즈와 표면의 자오선의 힘에 대한 공식으로 산출한 것과 같은 크기값을 얻을 수 있는 대체 공식을 제공한다. 상기 공식은 수술 유도 난시와 오차 각인 의도했던 경선위치로부터의 각편차에 직접 연결되어 있다. 이는 절개축의 변화를 결정하도록 한 순수값을 다른 것으로부터 빼는데 따르는 경선의 힘을 결정할 때 90°와 수술 경선위에 수술전과 수술후 난시의 공현을 계산할 필요를 없앤다.

수술 경선에서의 각각 변화에 따르는 평평함과 경사짐의 용어 중 하나로 이 변화를 설명하면, "상처에 맞고 맞지 않는(with and against-the-wound)" 그리고 "힘에 순응하고 대항하는(with and against-the-power)"과 같은 설명어들을 단순화하는 잇점을 제공한다. 그러나 "규칙에 맞는"과 "규칙에 반하는" 것과 같은 용어들은 90°와 180°에서의 특정 경선의 양극성에 관한 것이며 일반적으로 받아들여지는 사용법이다.

도24a와 24b의 예에서 굴절 원주축을 목표로 하여 직교대칭난시를 갖는 전체 각막에 회전력을 적용한다. 각막 형상에서의 어떤 유도된 변화는 굴절 유형에서 같은 벡터적 변화를 목표로 하며 그 힘에 의해 유도된 각막변화의 적당량에 의해 굴절원주가 회전하는 것을 기대할 수 있다. 치료가 대칭적일 때 치료 벡터의 분리는 필요하지 않다.

다음 예에서는 도 25a와 25b를 가지고 불규칙적 난시 치료를 설명할 것이다.

불규칙적 난시는 각막의 두양분체의 지형적값이 크기(비대칭) 또는 경선(직각이 아닌) 중의 하나 혹은 둘다와 일치하지 않는 곳에서 나타난다. 각막의 두 반쪽 간에 다소 질서(order)의 차이가 존재하는 것은 넓게 퍼져있다. 지형적 불일치는 두 각막 양분체간에 크기와 축의 지형값을 벡터적으로 비교함으로써 디옵터에서 난시 불규칙성에 대한 척도이다. 이 예에서는 지형적 디옵터가 1.29D이다.

직각이 아니거나 비대칭 난시, 혹은 둘다에 해당되는 난시에서 향상된 육안 또는 최대로 교정된 시력을 제공하기 위해 각막 형상을 규칙화하려는 바램이 있을 수 있다. 굴절 난시 또는 안경 교정에서 어떤 순수값변화 없이 이 임무를 수행하는 능력을 갖는 있점이 있을 수 있다. 두 독립된 반쪽에서 각막을 취급함으로써 적절한 난시 변화의 양을 반대편의 주기적인 방향에서 지형난시에서의 바람직한 변화에 적용할 수 있다. 존재하는 지형적 난시는 눈의 난시 도표 위에 직각 상태(180°, 떨어진)를 만들기 위해 두배각 벡터 도표 위에 크기와 경선 모두(실질적으로 360°, 떨어진)에서 일치하도록 목표할 수 있다. 두 치료 벡터의 분리는 두 치료 벡터가 동등한 크기에서 그리고 서로 90°에서 적용할 때 서로 다른 것의 효과를 부인하고 굴절 난시에 관한 어떤 순수 효과를 취소한다.

뚜렷한 약시 또는 불규칙 난시와 결합한 최적이 아닌 시력때문에 격하된 시력은 각막을 규칙화 함으로써 향상된 육안과 최고로 교정된 시력으로부터 이득을 볼 수 있다. 낮은 원주각막(keratoconus) 등급은 존재하는 비대칭조건을 감소하거나 제거하기 위해 반대편 양경선 위에서 상이한 평평함 그리고 경사짐으로부터 이득을 볼 수 있다.

굴절난시에 관한 어떤 순수 효과 없이 눈의 지형을 변화시키는 이 방법은 순전히 평평함과 경사짐의 효과 또는 회전 효과와 함께 채택할 수 있다.

직각대칭상태에 대한 불규칙 난시의 교정은 다른 방법으로 이루어질 수 있다. 이는 도 26a와 26b에서처럼(하층 양분체를 위한 목표 유도 난시는 0이다) 각막의 단일 양분체에 적용하여 이루어질 수 있다. 이 예에서 딜 바람직한 난시를 두배각 벡터 도표에서 규칙에 따르는 방향(180°, 540°)에 더 가까이 위치한 반경선과 일치하도록 움직이면, 규칙성을 얻기 위한 변화를 최소화하면서도 각막난시와 굴절난시에서 이동시킨 상층반경선의 방향은 개선되는 결과를 얻는다. 순수목표유도난시효과(net TIA effect)의 반은 굴절난시의 각 반에 적용된다. 하측지형 반-경선에서의 변화를 목표하지 않는다.

눈의 지형 난시는 도 27a, 27b 및 27c에서 보여지는 또 다른 방법으로 그것을 직각이 되고 대칭이 되게함으로써 향상시킬 수 있다. 각막의 양 분할체에서 지형을 위한 굴절 크기와 축을 목표로 함으로써 잔여 난시의 양에서의 순수 감소는 각각의 각막반쪽에서 지형과 굴절 간의 불일치량이 감소하는데서 기인한다. 상층과 하층 치료 벡터를 분리하여 결정되는 순수 목표 유도 난시에 의해 유도되는 굴절난시의 변동이 있을 수 있다. 양 분할체 모두에서 결과적으로 얻어지는 잔여 난시는 같을 것이고 최소 수준일 것이다.

도 28a, 28b 및 28c에 대하여 목표 유도 난시는 어떤 바람직한 목표쪽으로 우세한 굴절 또는 지형 난시를 변하도록 결정될 수 있다. 지형 변화는 대칭 혹은 비대칭일 수 있다. 이 예에서 각막의 양측 경선 모두가 각막을 대칭되게하는 규칙에 따르는 방향(90°, 270°)에서 0.75를 목표로 한다. 치료 벡터를 분리한 후에 잔여난시의 양과 크기에 있어서의 감소와 함께 굴절난시에서의 바람직한 순수값 변동이 있는 것으로 보일 수 있다.

도 29a, 29b, 29c는 양분체에서 각각 형상간에 뚜렷한 관계가 없는 곳에서 어떤 바람직한 평균적인 각막 난시를 얻는 치료를 보인다. 그러므로 양분체 모두의 목표난시는 무작위로 선택한 두개의 목표를 제시한다. 목표유도난시 벡터는 각각의 선택된 목표를 위해 분리해서 산출한다. 순수 목표유도난시는 양분체에서 목표유도난시값을 벡터적으로 더해서 얻는다. 이는 지금 즉시 예견할 수 있는 것이 아니라 다른 수술적 기술에서 미래에 가질 수 있고 망막과 광학의 신경조사에 기초한 다른 광학효과를 얻는 이득을 가져올 수 있다.

평평함/경사짐과 회전력의 분리와 현퇴화에 다른 반쪽(빈번할 때)으로써의 각막의 치료는, 여러가지 면에서 상대적인 각막형상을 변화시킬 수 있게 한다.

바람직한 방식으로 굴절난시에 영향을 주거나 반드시 변화시키지는 않고 직각의 그리고 대칭의 지형난시를 얻는 능력은 난시개선과 개선된 시작작용을 만들어내는 방법들을 잠재적으로 큰 확장을 가능하게 한다.

이하, 본 발명은 다음과 같은 주제별 제목에 따라 더 언급될 것이다.

1. 난시분석에 착수하는 개념
2. 난시의 시각적 교정
3. 객관적 및 주관적인 난시
4. 조정과 계산도표
5. 컴퓨터비디오 각막측량기 (A computer assisted video Keratotomy : CAVK)

6. 원추각막(Keratoconus)

7. 벡터 분석값

8. 공동원칙-목표 T&R

9. 난시의 광학적 치료

10. 강조도

11. 각막 형상의 복합성과 고려점

12. 난시 회전력

13. 질적인 수술 계획

14. 벡터변화도

15. 결론

1. 난시분석에 착수하는 개념

어떤 주제에 대한 협존하는 이해를 확장하는 새로운 개념이 일반적으로 수용되기 위해서는 많은 자질들이 요구된다. 첫째로 그리고 가장 중요하게, 기본개념은 이해될 수 있도록 단순해야 한다. 주제에 대한 과거 이해에서의 불충분함은 이미 뚜렷해 있다. 개념도입으로 제공되는 새로운 정보는 유용하고 적용이 쉬워야한다. 만일 그 적용이 과거 노력의 성공을 선별하는데 뿐 아니라 미래의 노력을 위한 의사결정과정을 돋는다면 새로운 분석기술의 수용은 향상될 것이다.

납작한 퍼팅 그린 위에서 구멍에 골프공을 치는 것은 이해를 위한 단순한 과정이지만 언제나 달성되기 쉬운 것은 아니다. 골프 퍼팅은 난시의 치료와 분석에 대한 일반적 개념을 공유한다. 공을 주어진 구멍에 원하는 길로 치는데 실패한다면 둘 중 한가지의 일이 벌어진 것이다. 힘의 강약이 맞지 않았던지 추진된 방향이 원하던 방향에서 시계방향이나 반대방향으로 간것이다. 이 두가지의 복합이 더 일반적이다. 전반적인 퍼팅 성공의 가장 중요한 척도는 두번째 퍼팅때의 필요한 공과 구멍의 거리이다.

난시 수술의 계획과 분석의 원리는 위보다 더 복잡하지 않다. 원하는 난시 수술의 길-그건 필요한 힘과 방향은 TIA(목표 유도 난시)이다. 실제 난시 수술의 길은 SIA(수술 유도 난시)이고 계차벡터(DV)는 초기목표를 얻기위해 여전히 필요한 힘과 위치를 측정한다. 비유적으로 위의 두번째 퍼팅이다. 치료를 축위에 했는지 축밖에 했는지, 너무 많은 힘이 가해졌는지 너무 적은 힘이 가해졌는지, 그리고 어떻게 교정해야 하는지를 알려주는 것은 수술유도난시와 목표유도난시사이의 다양한 관계들이다. 수술에서의 절대적이고 상대적인 성공도를 평가하는 것은 DV의 양과 이것의 목표유도난시와의 관계이다.

수술 유도 난시와 목표 유도 난시의 비율로 결정한 교정색인(correction index)은 교정량의 값이고 최적의 단위이다. 값이 1을 넘으면 교정초과이고 1에 못 미치면 교정미달이다. 교정계수(Coefficient of Adjustment)는 간단히 교정 색인의 역수이고 교정색인 1-원하는 교정-을 얻는 첫 수술치료계획에 필요한 변화량이다.

이 난시 분석 방법을 통해 얻은 성공의 척도는 절대적이고 상대적이다. DV의 양은 난시 수술에서 얻게될 성공의 절대적인 기준과 둘째 수술의 기준을 제공한다.

첫 수술의 목표달성을 필요한 경사점 양과 방향을 말한다. 골프와 비유하면 DV는 둘째 퍼팅이다.

이 벡터 비교는 모든 유형의 양으로 정할 수 있고(R, K, T) 여러 차례의 수술에서 DV의 평균은 유용하게 난시수술기술을 비교할 수 있다. DV의 방향은 성공결정에 유용한 정도를 제공하는 것 같지않다. 재수술에 필요한 계획은 최적의 광학적 굴절과 지형적 목표에 역점을 두게 한다.

목표 유도 난시에 대한 DV의 관계는 수술 성공의 척도로 제공되는 성공 색인표(Index of Success : IOS)이다. 난시의 목표한 변화가 더 커질수록 IOS값은 DV의 어떤 불변값에 대해 더 작아질것이므로 수술은 더욱 성공적이 될 것이다.

구멍으로부터 둘거리의 끝내기 두렷중 어느 하나를 결정하는데, 골프 비유를 들면 더 긴 첫번째 펫에서 얻어지는 것이 담이된다.

도달한 난시가 목표와 일치하는 곳에서 난시 유도는 일차적 목표를 달성하지않아도 된다. 마치 그런의 하나의 펫인것처럼 이경우에는 DV가 0이고 그래서 성공 색인 값 또한 0이다.

수술전 난시의 더 작은 값이 난시의 더 작은 목표된 변화와 함께 하는 곳에서, 값의 더 큰 스윙이 굴절요소에서의 더 작은 변이들에 의해 유발될수 있기 때문에, 수술성공(IOS, 조정과 교정 색인 계수)을 판단하는데 있어 유일한 결정자인 비율을 포함하는 척도는 덜 신뢰하게된다. DV와 같은 절대값의 평균에 관한 언급은 결과를 포괄적으로 이해하는데 필수적이다.

TIA는 각막과 안경의 평면에서의 분석을 가능케 하는데 있어서 핵심 사항이다. 이는 중간 반사경 장벽을 초자의 창으로 (pane of glass) 전환하여 굴절상 수술을 해온 난시 외과 의사가 수술이 각막 형상에 미치는 효과 또는 반대 경우의 효과를 감지할 수 없게 방해해온 장벽을 해소시킨다. 이제는 수술의 효과를 다른 참조 포인트에서 관찰할 수도 있다. 난시도의 변화를 의도했었는지와는 상관없이, 어떤 효과가 있었는지(SIA)를 측정할 때 현재 사용되는 난시 분석은 적절하다고 볼 수 있다. 그러나, 기존의 분석 시스템은 실지 결과와 의도된 결과와의 차이가 어떻게 생겼는지를 비교하지는 않는다. 모든 불완전한 교정을 교정 미달로 (under-corrections) 필연적으로 간주하기 때문에 수술 전 난시도와 수술 후 난시도를 비교하면 난시축의 변경을 무시하고 오전하는 결과가 초래된다. 이는 개별적인 크기와 축의 오차를 구분하지 못한다.

예를 들어, 오차각도(Angle of Error)를 분석할 때 모든 눈에서 시계방향쪽으로 5도의 일관된 오차가 있다면 엑스사이미레이저 수술의 범회전 (beam rotation) 등 시스템적 오차를 의미할 수 있다. 그러나, 이 5도가 오른쪽 눈에서는 일관적으로 시계 바늘 방향쪽이고 왼쪽 눈에서는 시계 바늘 방향 반대쪽이면 반듯이 뒤로 누웠을 때 안구의 외회선이 (extorsion) 원인이라고 볼 수 있다.

2. 난시의 시각적 교정

굴절성, 지형성 잔류 난시

굴절로 측정한 난시의 시각적 교정은 안경, 콘택트 렌즈 및 수술로 이루어질 수 있다. 난시의 시각적 교정을 안경으로 할 때, 주관성 난시는(subjective astigmatism) 안경 표면의 발현 시험을(manifest testing) 통해 정해지게 된다.

이 난시 값은 눈의 모든 굴절 표면의 총 순난시도의 측정을 제공한다.

즉, 렌즈 유리체 및 각막과 렌즈의 정면과 후면 표면을 통해 시각기관을(optical system) 지나가면서 빛이 직면하는 순난시적 효과를 말한다. 망막의 경사 및 후두염의 시각 괴질에서의 망막상 이미지에 관한 각성 인지는 주관 시험에 영향을 미칠 수 있다. 각막의 전면 표면, 부분은 눈의 시각기관의 주 굴절 표면이다. 망막적 난시도의 값과 망막 평면에서의 굴절 난시도의 값의 변분 때문에 눈의 시각기관 및 굴절 교정에서 잔류 난시가 제거되지 않는다. 얼마 전까지만 해도 이런 차이점은 난시를 치료하는데 있어서 무시되어 왔다. 이의 결과는 결과적 각막 난시에(resultant corneal astigmatism)와 중요하게 관련되어 있다.

지형난시와 굴절난시의 변분은 무시할 수 없으며 잔류 난시를 대략적으로 이인티클러난시(Ienticular Astigmatism)로 정의를 내릴 수 없다. 만약에 상기 용어가 이 변분을 충분히 묘사한다면 백내장 적출 및 구면 렌즈 이식 수술 후에 각막과 굴절 난시의 양과 축이 일치해야하지만, 사실은 그렇지 못하다. 각 그룹의 복합적 측정장치를 포함하는 주관적 및 객관적인 난시측정의 두가지 양상에 있어서 이들간의 차이점은 영속할 것이며 치료시 이를 고려해 볼 필요가 있다.

구면 교정만 제공하는 소프트 콘택트 렌즈에 의해 굴절성 오차가 교정될 경우 각막에 있는 콘택트 렌즈의 전면 표면에서 얻은 지형적 이미지가 콘택트 렌즈 없는 각막에서 얻은 이미지와 이론적인 모델에서 볼 때 동일하여야 하고 이에 있어서 지형적 난시의 측정을 제공한다. 렌즈 없이 또는 렌즈를 착용하여 이루어지는 발현 굴절은 안경 평면에 굴절성 난시의 측정을 제공한다.

원환체 소프트 콘택트 렌즈는 적절한 축에 후면 정점 간격에 대하여 교정시킨 굴절성 난시도로 정해진다. 이 렌즈의 굴절 계수가 각막의 것과 동일하고 각막의 선정된 경선에 정확하게 위치하고 있다면, 이론적인 모델에서, 각막 위의 렌즈 전면 표면에서 얻는 CAVK (Computer Assisted Video Keratography) 이미지가 눈의 잔류 난시의 양과 축을 알려준다. 발현된 과굴절은(manifest over-refraction) 굴절 난시적 오차를 간파하지 못할 것이다.

구면 표면을 가진 하드 콘택트 렌즈가 각막에 착용될 때 전면 굴절 표면을 효율적으로 구면화하기 때문에 발현된 과굴절은 (manifest over-refraction) 잔류 난시도의(굴절이 아님) 측정을 제공한다. 각막평면에 교정된 과굴절크기(over-refraction magnitude)는 발생부위 원환체 소프트 콘택트 렌즈의 표면에서 얻은 CAVK의 값하고 이론적으로 동일하여야 한다. 그렇지만 굴절 축의 방위가 잔류 난시의 방위에서 90° 가 된다.

3. 객관적 및 주관적 분석

CAVK에 의해 표기된 각막의 지형은 객관적이고 재생산이 가능한 이미지와 함께 난시의 치료와 분석을 제공한다. 지형 및 굴절로 난시 결과를 분석하는 것이 지형과 굴절이 영향을 받는 위치인 각막표면상의 변화를 모니터하는데 있어서 매우 중요한 단계가 될 것이다. CAVK는 객관적인 측정을 제공한다. 그러나, 비절개 굴절 수술 이후 발생되는 굴절광윤곽선분리(dioptric contour separation)의 감소된 선명도에 의하여 한정될 수 있다.

발현굴절은(manifest refraction) 빛, 차트거리 및 조명불일치 등(illumination inconsistencies)과 같은 굴절 통로에 시험 환경에 따라 변화할 수 있고 관찰자와 환자의 반응에 따라 좌우된다. 난시를 위한 유일한 측정 조변수로써 비적절한 굴절도는 굴절 수술에서 야기되는 구면 등량(spherical equivalents) 여러 변화가 이를 더욱 부각시킨다. 여기서, 이 수술은 잔류 난시 굴절오차에 소홀히 대응하게 하는 이유도 된다. 각막 지형 또는 기존의 각막계측(keratometry)에 의해 결정되는 객관적 측정으로 인식되는 추세는 분석에 있어서 주관적 추세에 균형을 제공한다. 이런 추가 정보가 난시 수술의 성공도 및 오차를 정하고, 결과를 향상시키는데 어떤 조정이 필요한지를 측정하는데 확신을 준다.

TIA를 사용하여, 굴절 및 지형적 타깃을 선정할 수 있다. TIA는 난시도를 측정하는 굴절, 지형 등 기타 장치에 의한 분석을 가능케하는 연관성을 제공한다. 레이저 난시 수술에 나타나는 현재 추세는 굴절식으로 이행한 수술의 결과와 각막에서의 결과와는 상당한 차이가 있다는 것을 보여준다. 이와 같은 분석 추세의 차이점은 굴절식의 유일한 치료 매개변수로서의 굴절에 대한 불필요한 강조도에서 야기된다고 볼 수 있다.

4. 조정과 계산도표

각막 난시에서 목표된 변화(TIA)는 굴절, 지형 및 각막계측 등 모든 양식에서 정해주는 바람직한 난시목표를 달성하도록 수술전 상태를 개조하려고 한다. 절개적 난시 수술에 (난시각막계측) 있어서 나이, 눈 장력 및 각막 직경 등으로 발생되는 생물학적 변화를 수용하기 위하여 계산도표가 사용된다. 타깃된 교정을 더 일관적으로 달성하기 위하여 조종 인수를 측정하여 절개 계산도표를 추가적으로 수정하거나 또는 비절개적 수술을 이행하는 레이저 기계의 성능을 정교하게 조정할 수 있다.

1993년 2월 전에 이행된 VisX 20/20 레이저를 사용한 PARK수술을 분석하면 난시도의 교정미달이(under-correction) 일반적인 추세다. 불충분한 힘이 (force) 적용된 것이라고 볼 수 있으며 수술로 야기된 난시의(SIA) 평균수가 TIA 평균수 보다 10:12의 비율로 적었다. 1.2의 조종인수를 난시 치료에 적용하여 시행된 1993년 4월 이후의 결과를 보면 굴절 및 지형으로 인한 SIA가 목표한 변경의 근사체에 접근하고 있어 교정 지수가 1에 가까워지고 있다.

5. 컴퓨터 비디오 각막 측량기 (COMPUTER-ASSISTED VIDEO KERATOGRAPHY, CAVK)

현재 각막 윤곽선을 검사하고 측정하는 장치는 일반적으로 두 그룹에 포함된다. 굴절광도면(dioptric plot)은 반사 프레시도 (placido) 디스크 기술에서 레이터를 받는다. 조명된 프레시도 디스크는 교류식 흑백링 또는 유색링의 연속으로 (colored sequence of rings) 구성될 수 있다. 실지 입면도(elevation map)는 스캔닝 슬릿(scanning slits) 또는 실체 사진측량(stereophotogrammetry)으로 투영한 그리드를 관찰해서 얻은 비반사적 이미지(non-reflective images)로 생성된다. 후자의 기술은 비반사적 표면의 비시축 (non-axial) 관찰을 가능케 하며 외과 수술에 있어서 수술대에서 실시간으로 관찰할 수 있는 이미지를 제공할 수 있는 잠재력을 가지고 있다.

굴절광도면에서 보우타이의(bowtie) 최정점에 그려지는 가장 가파른 곡선의 점이 각막을 구면화하기 위한 세포조직 절개의 최소량이 요구된다. 이것은 가장 평평한 곡선의 경선에 해당되며 경사진 벡터의(TIA) 방위와 맞추었다. 난시 각막 절개술 등 세포조직 추가 방법은 극대적으로 TIA의 축과 직각으로 이행된다.

6. 원추각막

각막 난시는 비대칭 및 비직교 방위의 정도가 서로 다르다. 각막 모양에 있어서 높은 난시도에서 높은 비대칭도까지 이런 생리적인 수차의 스펙트럼이 있다. 여기서 CAVK 기술의 도움으로 원추각막의 불완전형(forme fruste), 초기(early) 또는 아임상(subclinical) 단계의 발현이 종종 관찰된다. 생리적인 스펙트럼에서 내부와 외부를 분리시키는 정밀한 선을 과다한 각막경사점, 힘거나 흉터진 선단(apical) 등의 임상적 징후로 측정할 수도 있을 것이다. 원추각막에서 발견되는 상이한 페더들은 시간이 지나면서 원추각막에서 일어나는 지형적 변화의 진행에 있어서 여러 가지의 단계의 연속체를 나타낼 수도 있다. 그렇지만 원추각막 변화를 보이는 각막을 가진 눈의 지형적 도면을 정밀히 검토해 보면 이분의 일의 보우타이의 흔적이 일반적으로 존재하고 심한 비대칭 상태에서도 난시의 양쪽 반경선이 존재함을 의미한다.

7. 벡터 분석 값

시각 명료도 및 대조 민감도(visual acuity or contrast sensitivity) 등 시각적 지각력을 측정하는 현행의 방법은 난시 치료 방법에 있어서 여러 가지의 성과를 드러내기에 필요한 민감도(sensitivity)가 없다. 예를 들어, 양측에 있는 광선 개구를 (beam aperture) 제한하는 평행 도신의 (parallel blades) 개구로 인해 형성된 타원 모양의 절개, 그리고 원형 조리개 개구의 병재 폐포와 (concurrent closing), VisX 20/20 엑스사이머 (excimer) 레이저의 사용에 있어서 난시 치료의 평면적 원통 양식 방법을 이용하는 연속 기술의 (sequential technique) 차이점을 식별할 수 없었다. 상기 차이점을 벡터 분석을 사용하여 함께 얻어지는 원형변화에서 난시적 변을 분리할 때 드러날 수 있다.

8. 공통 원칙-목표 T&R

수술전 난시 값, 즉 지형값이나 굴절값 중 어느 하나를 수술 치료를 위한 결정 요소로서 채택하는 두개의 대조되는 치료 매개변수에는 상충되는 점이 있다.

어는 한쪽의 수술전 난시보다는 목표 각막 난시의 방위를 지침되는 외과적 매개변수(guiding surgical paradigm)로 사용함으로써 이런 변분은 해소시킬 수 있다. 이렇게 함으로써 레이저나 칼을 (blade) 사용하던 모든 외과 의사는 동일한 지침 원칙하에 수술을 하게 될 것이다.

그리하여, 모든 형태의 굴절 수술은 치료에 있어 하나의 공통 원칙하에 들어오게 된다. 즉, 최적의 절차를 결정하기 위하여 예정된 변경이 굴절상 및 각막의 형상에서의 난시도에 대해 어떻게 영향을 미치는지 평가하는 것을 말한다.

백내장 관통 각막이식술을 위해 절대적으로 수술전 각막 형상을 (즉 엑스사이머 레이저 PARK 수술에 있어서 난시적 원추각막 및 굴절을 위한 형상 또는 굴절) 강조하는 현행 절차는 공통 또는 일관된 테마가 없다. 각각 한쪽은 양극적인 치료 스펙트럼을 채택하고 있다.

수술전에 굴절상 및 지형적 타깃을 설정함으로써 난시 수술에 있어서 기본적인 임무를 성취할 수 있다. 첫째로는 중요 조변수에 의한 치료의 극대화이고, 두 번째로는 목표이 어디에 위치하고 있는지를 인지하여 효과적인 분석을 가능하게 하는 것이다. 정확한 목표를 지정하는 과정은 성과 및 오차의 측정과 여러 가지의 조정을 하여 향후 절차의 향상 시킨다.

근시 및 난시에 대한 엑스사이머 레이저 수술에 있어 안경의 필요성을 제거하는 것이 목적이라면, 굴절 사항을 원통과 구면의 유일한 치료 조변수로 사용하면 않되겠냐고 물을 수도 있을 것이다. 상기 질문의 대답은 안경의 필요성을 제거하는

목표를 달성하고 근시 교정을 위한 제로 구면 등가량을(zero spherical equivalent) 목표로 하는 것에 있다. 그러나 안경 난시도를(spectacle astigmatism) 각막에 이전하는 단점은 이것이 잔류 각막 난시도를 최대화 한다는 것이다. 이는 각막의 형상을 수술 기획에서 참고하는 각막 수술의 기준 원칙에 상충되는 사항이다. 안경 교정과는 독립되어 있는 시각기관은 전면 각막 표면 형상의 최적 규칙성에 지속적으로 의존할 것이다.

9. 난시의 광학적 치료

지형과 굴절상의 차이점이 현퇴화계 존재할 때 지형 및 굴절상 또는 양측 표면에 남는 난제로 타깃들 (leaving non-zero target) 사이에 분배되는 잔류 난시가 눈의 시각기관에 여전히 존재한다. 수술계획에서 지형적 사항을 제외시켜 생기는 결과는 각막에 잔류 난시의 이전, 잔류 각막 난시의 최대화, 구면수차(spherical aberration) 상승 가능성과 감지된 이미지의 결과적 퇴화이다.

지형적으로 목표한 난제로 값과 (targeted non-zero values) 굴절 난시도의 합계가 해당 시각기관에서 가능한 최소 목표값과 동일할 경우, 본 발명에서 난시의 최적 치료가 이루어 진다. 상기 합계는 목표 난시의 방향에 의하여 지형과 굴절상에 적절하게 분배된다.

목표 각막 난시의 방향이 수술적 치료 계획에 있어서 지형과 굴절상 요소의 사이에서 분배되는 강조도의 정도를 최적으로 결정한다. 그러나, 방향에 따른 이미지의 편질성 감지도(cortical perception)가 어떻게 퇴화되는지에 의해 상기 분배가 결정될 수도 있다. 만약에 이미지가 최대로 퇴화된다면 구면 각막의 목표가 선호되며 잔류 난시도는 굴절쪽으로 향한다. 만약에 목표난시도가 이미지가 최소 퇴화되는 방향에 속한다면 잔류 난시도는 최적으로 각막에 남아 있고 굴절에의 난시교정은 없다고 볼 수 있다.

연구실 또는 임상적으로는 사위 난시가 가장 비적절한 선택이 될 수 있다.

만약 그렇다면 강조의 중점이 적절하게 분배될 수 있을 것이다. 각막 난시와 공존하는 눈의 구면등가량은 이미지의 선명도의 경선위치에 따라 영향력을 발휘할 수 있다.

10. 강조도 (emphasis)

강조도는 (emphasis) 지형과 굴절상 목표의 상대적 위치를 퍼센트로 표현한 치수이다. 여기서 치료 벡터는 (즉, TIA) 두 배각벡터 도면에서 (double angle vector diagram) 이 두 목표를 연결하는 선에서 종결된다. 치료 강조선이 제로 지형과 굴절적 난시의 두 목적을 연결하면 강조선은 최대 교정 목표선과 일치하며 기준 난시의 최대 교정으로 인한 최소 목표 난시를 가능하게 한다.

목표각막 난시도가 90°에 가까워 질수록, 유일한 치료 조변수인 강조도는 제로 지형적목표쪽으로 더 가지않게 된다.

그러나 수술 계획에서 지형과 굴절에 주어지는 상대적 강조도는 목표 난시의 방위에 대해 직접적인 관계가 없을 수도 있다(도 19). 목표구면등가량이 0일 경우 기준 각막 난시도의 방향에따르는 시각적 이미지의 상대적인 퇴화에 대한 지식을 기초로하여 외과 의사들은 수술계획을 세우는데 있어서 지형과 굴절 요소에대한 상대적인 강조도를 결정해야 한다. 현재로써는 WTR방위가 가장 선호적인 것 같다.

11. 각막 형상의 복합성과 고려점

각막외과의사의 주요 관심사는 전통적으로 각막 형상이다. 즉, 난시도 및 이의 방향이다. 난시의 최적 치료는 각막상 난시도를 감소시키며 이의 방향을 유리한 방향으로 영향주려고 한다. 굴절적 외과 의사에게는 모든 측정 양식에서 제로 난시도가 지속적으로 최종적인 목표가 될 것이다.

지금까지 기준의 난시치료방법은 형상이나 굴절적 난시도를 기초로 외과 수술방법으로 획득 가능한 제로 난시도를 목표로 삼아왔다. 굴절과 지형상에 존재하는 주요한 차이점이 부과하는 난제로 목표를(non-zero goals) 피하지 못한다는 점을 본 발명은 인정하고 있다. TIA의 도입은 제로 난시도를 위한 중간 단계가 필요가 없고 굴절과 지형상의 목표를 하나의 외과수술절차로 달성하게 한다.

즉, 목적지에 가는데 있어서 허브 공항에서 (hub airport) 정착할 필요가 없는 비행기편과 유사하다.

본 발명에 의하면 현재 가능한 치료 조변수의 확대가, 이전에는 고려되지 않았던 신규 형태의 난시 치료를 결정하는데 있어서 새로운 방향을 제공한다. 과거에는 굴절 사항이 치료의 한정된 주요 관심사였으나 지형적 요소를 도입하여 고려함으로써 장점을 얻었으나, 한편으로는 복합성을 개입시켰다. 외과 수술 계획에 형상 조변수를 포함하여 목표각막 난시도를 감소시키고 외과 수술적 결과의 벡터 분석을 위한 객관식 측정을 사용 가능케 하는 것이 상기 장점이라 할 수 있다.

지형적 요소를 포함하여 상당한 복합성이 개입되므로 이를 설명할 필요가 있다. 앞에서 언급된 하나의 복합성은 가장 K(simulated K)로 표현되는 굴절과 지형상의 차이점이다. T로도 적절하게 표현되는 가장K는 CAVK에 의해 제공되며 하나의 적당한 절충사항이라고 하겠다. 이는 여러 장치에 의해 다양한 방법으로 생산된다. 일반적으로 볼 때, 이는 각막의 양분체에서 측정된 정수참조포인트들(constant reference points)의 평균 값이다.

각막의 두 반경선에 있는 난시 굴절과의 정도에 있어서 기준 차이점은 R과 T의 값의 차이점과 일반적으로 유사하다. 이들의 반경선 T 값의 비대칭은 난시의 두 반경선의 비직각 관계 때문에 더욱 복잡하여 진다. 즉, 아주 종종 이들의 시축이

180도로 상호간에 정렬이 안된다. 비직각 난시인 경우에는 동 각막에서 여러 측정으로 인한 3개의 시축을 선택하는데 있어서 가장 K의 방향 측정이 종종 다를 수가 있다. 여기서 3개의 시축은 두 비직각의 값 중 어느 하나 또는 양쪽을 교차하는 방향을 의미한다.

굴절과 지형적 차이점의 값은 중요하지 않은 것처럼 무시 할 수 없다.

그리고, 발현굴절난시도(manifest refractive astigmatism)로 각막 지형의 어느 반경선이 해소되었는지를 조화(reconcile)시킬 수 있는 메커니즘이 없기 때문에 정확하고 제도적인 굴절이 이 차이점을 해소할 수 있다고 말할 수가 없다.

앞에서 언급되었듯이 각막의 두 반경선에서 각막 지형적 요소의 검사는 일반적으로 어느 정도의 비대칭도를 보여 준다. 이 비대칭은 보우타이의 (bow-tie) 두 반쪽의 비직각 방위 또는 이의 양으로 나타난다. 각막의 최적인 치료를 달성하기 위하여 공통 굴절, 다른 지형적 정도 및 축의 조화가 두 번 필요하다.

각 반쪽의 각막에서 다른 목표각막을 측정하고 상기 정보에서 최적 TIA의 측정이 가능하다. 치료를 위한 이 반경선 방법은 절개 또는 비절개 기술이 사용될 때 이의 연관성을 관찰할 수 있다.

굴절 난시는 비직각적 지형적 시축의 반대쪽의 경선과 종종 교차한다.

각막의 각 양분체를 위한 시각적 치료를 사용하면 목표굴절 난시를 감소하는 향상된 시너지 효과가 나타나며 전체적으로 구면 각막에 더 가깝고 더 규칙적인 결과를 얻을 수 있다. 그러므로 해당 환자의 개인 상태의 최적 치료에 의한 굴절 난시적 난시도에서 이들의 각각의 차이점과 두개의 지형적 각막의 반쪽 사이의 필연적 차이점을 인정하면서 각 지형적 경사 축에 더 가깝게 위치한 각 양분체의 치료를 측정할 수 있다.

굴절적 난시의 변경이 있거나 없거나, 각막 난시도의 비직각 및 비대칭적 요소를 규칙화하면 육안 및 최적 교정의 시각적 명료도를 향상시킬 수 있다. 상기 치료는 절개적, 지질 내부적 레이저, 절개 각막절개술 또는 이의 복합적 기술을 적용하여 굴절 상태를 변경 하지 않으면서 눈의 시각적 기능을 향상시킨다. 아동약시(amblyopia ex anopsia) 또는 불규칙적 난시로 인한 최적의 기능을 하지 못하는 성인 눈을 치료하는데 있어 유용할 수도 있다.

수술의 목적에 따라 직각 대칭 상태를 달성하기 위한 불규칙적 난시의 치료는 여러 방법으로 시행할 수 있다. 규칙적 직각 난시는 굴절에 아무런 변경 없이도 달성될 수 있다(그림 25a-25c). 더 유리하게 위치한 각막반경선쪽으로 덜 유리하게 위치한 각막반경선을 회전시키면 굴절 난시의 유리한 동시 회전이 가능하다(그림 26a-26c). 수술전 굴절난시를 목표함으로써 한 개 또는 두개의 반경선에서의 지형과 굴절상의 부등자는 감소될 수 있다. 이렇게 하여 굴절적 난시에서 순변경은 (net change) 양쪽 지형적 반경선의 잔류 난시도와 일치한다(그림 27a-27c).

각막 형상의 대칭의 기준 수치를 교정에 난시 치료가 적용되어야 한다.

이렇게 하여 주요 각막 불규칙성에 의해 퇴화된 각막 이미지를 잠재적으로 향상할 수 있다. 시각적 침침함(visual obscuration) 걸린 대부분의 눈에는 비직각적 및 비대칭적 난시 또는 양쪽의 난시가 공존할 가능성이 높다. 어떤 나이에든, 이 비정상적 상태의 교정을 두개의 다른 반쪽으로 각막 치료함으로써 시각적 감지의 질과 양을 잠재적으로 향상시킬 수도 있다.

12. 난시 회전력 (Astigmatic Torque)

수술전 각막의 난시상태에 난시회전력이 가해지는 곳은 현재 난시의 45°지점이다. 가장 가파른 각막 축에 순절히 접하도록(이중각에 의하여) 단일방향으로 가해지는 힘은 수술전 값보다 크기(magnitude)면에서 더 크고 회전력의 방향으로 움직이는 방향성을 갖는 목표난시를 얻게된다(도 21a, 21b).

각막난시를 바꾸기위해 목표유도난시(TIA)력을 가하면, 굴절성 난시에 영향을 준다. 기존의 각막난시 축의 변화는 동일한 목표유도난시백터 양만큼 동일한 시계방향이나 또는 반시계방향으로 굴절성 난시를 변화시킨다. 굴절성 난시의 정도나 방향 변화는 바람직하거나 또는 바람직하지 않을 수도 있다.

눈의 난시치료를 양분체(hemi-division)로 나누는 것은 두개의 반-경선(hemi-meridian) 각막난시의 방향을 변화할 수 있으며, 반면 굴절성난시에 대한 영향은 감소하거나 없앨 수 있다. 두개의 반대되는 경사지게하는 힘(steepling force)은 반대 순환방향으로 가해져 굴절성 난시에 미치는 각각의 영향을 상쇄시킬 수 있다. 이러한 방식으로, 반대되는 비트는 힘(torsional force)의 사용은 비직각비대칭 반-경선을 조정하여 일치점을 얻고 그리하여 규칙적인 관계를 얻을 수 있다. (도 25a ~ 25c) 각각의 방향을 반대방향, 다시 말해 시계방향과 반시계방향으로 바꿈으로써 굴절성난시에 가해지는 순효과(net effect)를 줄이거나 없앨 수 있다.

조정된 지형성난시와 굴절성난시사이의 긴밀한 관계가 예상된다.

평평하게하는/경사지게하는 효과와 시계 또는 반시계방향으로 비트는 효과와의 구별은 각구성부분으로 변화들을 분산함으로써 각막형태를 조절한다. 필요하다면, 굴절 변화와 지형적인 변화간의 연결은 이러한 방식으로 분석이나 치료목적에 맞게 단순화 할 수 있다.

그러나, 목표로하는 각막 난시 크기를 필수적으로 줄이지 않고 각막에 일정정도의 난시 회전력을 가하기위해 목표유도난시(TIA)를 적용하는 것은 눈의 난시에 최적의 치료나 최상의 치료를 얻을수 없다. 난시의 최상의 치료는 목표난시(지형성 난시와 굴절성난시의 포함)가 최소치에서 눈의 나머지 난시와 일치할 때 가능하다. 이 목표난시가 방향에 따라 지형과 굴절사이에 조화롭게 분포되어있는 곳에 최적의 치료가 있다.

13. 질적인 외과계획(Qualitative surgical planning)

본 발명은 CAVK로부터 얻은 양적인 정보에 대한 중요성에 중점을 두어왔지만 필연적으로는 양적인계획과 분석기술에 의해 얻을수 있는 좀더 질적인 정보에 대한 가치를 인식하게되었다. 지형지도에 나타나듯이, 난시에서 목표로하는 대칭적 이거나 또는 반-분할적인 변화를 수술전의 난시상태에 적용함으로써, 이 방법은 예상하는 방식(in a predictive manner)으로 적용할 수 있다. 단독으로든 그룹으로든, 복수의 개별 측정점은 목표로하는 치료로부터 생겨날 것으로 기대되는 지형 그림을 관찰할 수 있도록 계획과정중에 그러한 치료가 응용되도록 할 수 있다.

목표로하는 굴절성 난시의 값은 목표로하는 치료벡터의 소멸에 따라 결정될 수도 있다.

외과계획은 계산된 목표변화에 의해 예측되듯이 지형의 형상에따라 미세조정될수 있다. 상위 또는 하위 치료벡터에대한 강조에서의 작은 변화는 바람직한 결과에 대한 외과의사의 질적기준에 따라 가장 바람직할 것으로 판단되는 것으로 목표 형상을 조정할 수 있다. 하나 또는 두개의 치료벡터(TIA)에 대한강조의 변화들은 동시에 목표로하는 굴절성난시를 변경한다. 전체적이지않은 지형난시를 목표로 양쪽의 지형상 반-경선(hemi-meridia)에 몇몇 영향들을 가하면서 각각의 목표로 하는 무굴절(zero refraction)없이도 영도 또는 영도에 근접하는 굴절성 난시를 얻을 수 있다는 것은 주목할 만하다.

영향(emphasis)변화로 치료를 미세조정하는 또다른 방법은 두개의 치료벡터의 어느하나에 평평하게하는/경사지게하는 효과(flattening/steepering effect), 회전력(torque) 또는 이들의 결합들을 조정함으로써 얻을 수 있다. 이것은 치료계획을 변경하여 생기는 초기의 지형들의 실제시간전시(real-time display)를 통해 실시할수 있다. 오직 난시의 최대 수정이 우선되지않는 경우에만 최대 수정목표선으로부터 이러한 방식으로 목표유도난시를 이동할 수 있다.

14. 벡터변화도 (VECTOR CHANGE MAPS)

수술 후 각점에서의 단순한 수학적 변화 또는 차이분석과 함께 유도된 변화도(vectored change map)를 검토함으로써 수술전과 수술후의 지형을 비교할 수 있다. 이것은 벡터분석의 모든 관련 양식에 할 수 있다. 예를 들면, 수정지표도 (correction index map)는 외과레이저 또는 수술칼에의해 덜수정되거나 더수정된 상대적인 영역들을 보여주며, 이것은 양수 또는 음수의 실수크기(magnitude of error)량으로 나타낼 수 있다. 성공한 영역의 절대치와 상대치는 DV와 성공지표(Index of Success)로 도표화할수 있고, 조정된것(alignment)이나 조정되지않은(misalignment)에서의 변형들은 오차 각도(Angle of Error map)에 그려질수 있다.

하나씩 유도된 변화로부터 얻은 정보들은 레이저 또는 칼과 같은 굴절도구에 의한 작업을 개선하기위해 개인환자나 그룹 환자들에 이용될 수 있다.

조만간 CAVK와 각막형태의 레이저변형과 같이 현재 분리되어있는 분야들은 각막형태에 상대적인 자오면변화 (azimuthal changes)를 일으키는 외과절차를 조절하고 평가하는 통합된 영역으로 합쳐질 것이다. 상호보완적이고 의존적인 기술들의 궁극적인 결합은 굴절오차의 치료및 분석에서 각각의 가치를 상승적으로 높일수 있다.

15. 결론

각막은 형태에 따라 영향을 받는 기능을 하는 투명한 조직으로 콜라겐과 탄성조직으로 구성되어 조직 절제, 절개와 수축 등에 의한 형태상의 변화 유도를 가능하게한다. 각막을 상대적으로 경사지게하고 평평하게하는 변화는 굴절 수술에서 함께 발생하는 일반적인 경사지게하거나 평평하게하는 구상 변화(spherical changes)의 부분으로 일어난다.

최대기능을 얻기위해 환상형태(toroidal shape)에서 바람직한 변화를 계획하기위해서는 지형적 양상들(modalities of topography)(형태)과 경사각(기능)의 측정매개변수들을 통합해야한다. 형상과 기능에서뿐만아니라 그 형상의 두개의 양 분체간의 차이점을 인식하고 중점적으로 다루는 것은 난시안에 최대가능시력을 실현하는데 있어 가장 기본적인 단계이다.

배후분석(retrospective analysis)에서 주관적인 매개변수와 객관적인 매개변수를 이용하면 시스템상의 부정확성을 조정함으로써 난시수술에 쓰이는 미세조정기구들의 기능을 더욱더 개선하게된다. 장래의 레이저기계는 대칭적치료 및 비대칭적치료 요구에 중점을 두고 선택된 수치나 최적의 수준으로 각막양측의 난시를 완화할 수 있게 할 것이다. 각각의 대칭상태를 확립하면 망막상의 이미지를 인식하는 능력을 잠재적으로 개선하면서, 지형적 난시에 규칙성을 만들게된다.

본 발명은 외과적 계획과 치료에 있어서 예상값을 얻기위한 난시분석 방법론을 확장하고자하였다. 외과적 계획에 국소해 부합을 통합한것은 감소된 각막난시의 즐거적인 효과를 제공한다. 그러나 지형과 굴절간의 차이에 더하여 각막의 두 반쪽에서 대칭의 차이에 주목해야하는 복잡함이 외과적 결정과정에 도입되었다. 여기에 자세히 기재되어있는 최적의 난시치료를 결정하는 방법은 수술전난시가 아니라 목표난시에 의해 결정되며 각막의 양 반쪽에 각각 적용될 수 있다.

이 방법론은 각막형태에 어떤 바람직한 변화를 조절하는데 청사진을 제공한다. 더나아가 궁극적으로는 진단, 분석, 치료 용 굴절외과기구를 통합하는 방법을 제공한다.

도면의 간단한 설명

첨부되는 도면과 관련하여 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.

도 1은 수술전 목표되고 성취된 환자들의 전형적인 난시값을 보여주는 그래프이다.

도 2, 3, 4는 도 1에서 보여지는 난시값에 대한 두 배 각 벡터(double angle vector) 도식이다.

도 5는 두배각 벡터 도식들을 보여주는 도식, 특히 목표난시값, 목표 유도 난시 벡터 및 계차 벡터를 보여주는 도식이다.

도 6은 2분의 1각의 수술 벡터들을 보여준다.

도 7은 도 6의 수술 벡터가 분석된 도식이다.

도 8은 각막 수술 시행을 위한 장치의 모형도이다.

도 9는 100명의 무작위 연구 환자들에 대한 굴절 및 각막의 지형에 의해 측정된 난시 크기를 보여주는 도식이다.

도 10은 환자들에 대한 각막 지형의 경선에 비례하는 축의 변화를 나타내는 도표이다.

도 11은 환자들에 대한 각막 지형의 경선에 비례하는 크기의 변화를 나타내는 도표이다.

도 12는 환자들에 대한 잔여 난시를 나타낸 도표이다.

도 13은 환자들의 잔여 난시의 크기 대 크기의 변화를 나타낸 도표이다.

도 14는 환자들의 잔여 난시의 크기 대 축의 변화를 나타낸 도표이다.

도 15a는 난시 및 수술 벡터 도식이다.

도 15b는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 두배각 벡터 도식에 그려진 도 15a안에 있는 벡터를 보여준다.

도 16a는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 각막 지형에 의한 치료를 보여주는 두배각 벡터 도식이다.

도 16b는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 굴절에 의한 치료를 보여주는 두배각 벡터 도식이다.

도 17a는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 최소 목표 난시를 얻기 위하여 목표 유도 난시 벡터를 가진 치료를 보여주는 두 배 각 벡터 도식이다.

도 17b는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터 매개변수와 시각의 최소 목표 난시를 성취하기 위한 시각적 목표 유도 난시 벡터를 가진 치료를 보여주는 두 배 각 벡터 도식이다.

도 18a는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 교정초과(overcorrection)를 설명하는, 최소 목표 난시에 대한 고려 없이 행한 치료를 보여주는 두 배 각 벡터 도식이다.

도 18b는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 교정미달(undercorrection)을 설명하는, 최소 목표 난시에 대한 고려 없이 행한 치료를 보여주는 두배각 벡터 도식이다.

도 19는 다른 보기에 대한 외과적 치료 강도의 변화를 보여주는 도표이다.

도 20a는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 상,하 양분체에 대한 눈 벡터 도식들을 눈에 포개 놓은 도표이다.

도 20b는 도 20a의 치료 벡터들의 분해를 보여주는 두배각 벡터 도식을 설명한 도표이다.

도 20c는 도 20a의 눈의 양분체에 대한 시각적 치료를 보여주는 두배각 벡터 도식을 설명한 도표이다.

도 21a는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 난시와 눈에 대한 난시의 회전 능력(torque)을 만 들어내는 외과적 벡터를 설명한 도표이다.

도 21b는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 두배각 벡터에 대한 도 21a의 매개변수들을 설명 한 도표이다.

도 22a는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 각막평면화(corneal flattening)를 제외한, 난시 및 도 21a와 유사한 외과적 벡터를 설명한도표이다.

도 22b는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 두배각 벡터 도식에 대한 도 22a의 벡터들을 설명한 것이다.

도 23a는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 매개변수와 수술 후 난시를 평평하게 하거나 경사지게 하는 (flattening or steepening on) 효과를 설명하는 벡터 도이다.

도 23b는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 매개변수와 두배각 벡터 도식에 대한 도 23a의 벡터들을 설명한 것이다.

도 24a는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 난시의 회전 능력(torque)을 만들기 위해 눈의 우성과 열성의 양분할체에 대한 벡터 도식들을 눈에 포개놓은 도표이다.

도 24b는 두배각 벡터에 대한 도 24a의 벡터를 보여주는 것이다.

도 25a는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 굴절에 의한 난시에서의 변화없는 직교대칭난시를 이루기 위한 치료에 대한 것으로 도 24a와 유사하다.

도 25b는 두배각 벡터 도식에 대한 도 25a의 벡터를 보여준다.

도 25c는 도 25b로부터 치료 벡터들의 분리를 보여준다.

도 26a는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 유리한 "규칙을 갖는" 방향을 향해 움직이는 방향을 갖는 직교 대칭 난시를 이루기 위한 치료에 것으로 도 25a와 유사하다.

도 26b는 두배각 벡터 도식에 대한 도 26a의 벡터를 보여준다.

도 26c는 도 26b로부터 치료 벡터들의 분리를 보여준다.

도 27a는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터의 매개변수와 최소 잔여 난시를 갖는 직교대칭난시를 얻기 위한 치료에 대한 것으로 도 26a와 유사하다.

도 27b는 두배각 벡터 도식에 대한 도 27a의 벡터들을 보여준다.

도 27c는 도 27b로부터 치료 벡터들의 분리를 보여준다.

도 28a는 벡터 도식에 이웃한 사각형안에 보여지는 벡터들의 매개변수와 바람직한 방향에서 직교대칭난시를 이루기 위한 치료에 대한 것으로 도 27a와 유사하다.

도 28b는 두배각 벡터에 대한 도 28a의 벡터들을 보여준다.

도 28c는 도 28b로부터 치료 벡터들의 분리를 보여준다.

도 29a는 명목상의 필요 각막 난시를 만들기 위한 치료에 대한 것으로 도 28a와 유사하다.

도 29b는 두배각 벡터에 대한 도 29a의 벡터를 보여준다.

도 29c는 도 29b로부터 치료 벡터들의 분리를 보여준다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

굴절성난시측정과 지형성난시측정을 고려하여 환자눈의 난시를 외과적으로 교정하는 장치에 있어,

환자눈의 각막 지형에 근거하여 환자눈의 난시 축과 크기를 측정하는 수단,

상기 눈의 굴절교정에 근거하여 환자눈의 난시 축과 크기를 측정하는 수단, 및

굴절성난시측정과 지형성난시측정 이 두가지에 에 근거하여 외과적 매개변수를 결정하되, 상기 외과적 매개변수는

a) 굴절과 지형에서 각각 영이 아닌 목표난시값을 얻기위해, 한편으로는 지형으로 측정한 난시값을 굴절로 측정한 난시값에 더하고, 다른 한편으로는 굴절로 측정한 난시값을 지형으로 측정한 난시값에 더하고,

b) 상기한 두개의 목표난시값에 기반하여 목표한 굴절난시값과 지형난시값의 합이 최소가 되도록 상기 외과적 매개변수를 확립하여 수술후 눈의 난시가 지형과 굴절로 측정할 때 최소값이 되도록 하는 외과적 매개변수를 결정하는 수단을 포함하는 외과적 난시교정장치.

청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 외과적 매개변수를 결정하는 수단이 굴절측정과 지형측정 각각을 통해 얻은 난시값의 크기와 축이 상기한 외과적 매개변수들을 결정하기 위한 두배각벡터표(double angle vector diagram)로 도시하는 난시교정장치.

청구항 3.

제2항에 있어서, 굴절과 지형 측정을 위한 상기 목표난시값이 상기한 두배각벡터표에 직선으로 놓여지는 벡터들인 난시교정장치.

청구항 4.

제2항에 있어서, 상기 외과적 매개변수를 결정하는 수단이 상기 목표난시값을 각각의 목표난시값의 방향에 근거한 지형측정과 굴절측정사이에 분배(apportioning)하는 난시교정장치.

청구항 5.

제4항에 있어서, 상기 목표난시값의 상기 분배는 "규칙에 따른"(with the rule) 방향에 비례하는 각각의 목표난시값의 방향에 근거하여 정해지는 난시교정장치.

청구항 6.

제1항에 있어서, 비대칭적인 지형을 갖는 눈의 경우에는 상기 외과적 매개변수를 결정하는 수단은 각막을 두개의 양분체로 관찰하고, 각각의 양분체를 위한 외과적 매개변수를 서로 독립적으로 결정하는 난시교정장치.

청구항 7.

제6항에 있어서, 상기 외과적 매개변수를 결정하는 수단이 양분체를 위한 매개변수에 근거하여 전체 눈을 위해 분석한 치료매개변수를 얻는 난시교정장치.

청구항 8.

제1항에 있어서, 상기 외과적 매개변수는 상기 난시 크기를 근본적으로 변화시키지 않으면서 지형적으로 또는 굴절력으로 측정한 눈의 난시축을 변경하게 될 외과적 치료를 위해 적용되는 난시교정장치.

청구항 9.

제8항에 있어서, 상기 외과적 매개변수는 난치축에 대하여 45° 떨어진 각도에서 각막에 가해지는 힘을 포함하는 난시교정장치.

청구항 10.

제9항에 있어서, 상기 난시축은 적용된 힘의 작용에 따라 변경되는 난시교정장치.

청구항 11.

제10항에 있어서, 상기 난시 크기를 근본적으로 변화시키지 않으면서 지형적으로 또는 굴절력으로 측정한 눈의 난시축을 변경하기 위한 상기 힘은 각막을 평평하게 하거나 경사지게 하는 벡터성분을 포함하는 상기 45°에서, 상기 45° 각에서 분해되는 상기 힘의 벡터성분에 의해 만들어지는 대응되는 평평하게 하거나 경사지게 하기로 상쇄하는 상기 힘의 방향으로 떼어놓는 난시교정장치.

청구항 12.

제6항에 있어서, 상기 외과적 매개변수는 난시축을 변경하고 난시크기를 증가시키는 회전력으로 작용할 힘을 45° 각에 가하는 것을 포함하는 난시교정장치.

청구항 13.

제6항에 있어서, 상기 양분체에서의 지형적 측정이 크기나 축, 또는 이 둘에서 일치하지 않는 경우에, 상기 난시교정장치는

상기 양분체들의 형태를 동일하게하기 위해 그 안에 각막을 조각하는 동안 굴절성 난시에 순효과(net effect)를 생성하지 않도록 양분체의 180°에서 동일한 크기의 외과적 교정을 실행하는 수단

을 추가적으로 포함하는 난시교정장치.

청구항 14.

제6항에 있어서, 양분체에서 지형적 측정이 크기나 축에서 일치하지 않는 불규칙난시에의 경우에, 상기 난시교정장치는

그 난시를 직각대칭상태로 교정하는 수단

을 추가적으로 포함하는 난시교정장치.

청구항 15.

제14항에 있어서, 상기 난시교정장치는 상기 양분체의 어느 한쪽에만 교정을 실행하는 난시교정장치.

청구항 16.

제15항에 있어서, 상기 난시교정장치는 난시가 더 심한 양분체의 한쪽에만 교정을 실행하여 한쪽 양분체를 다른 쪽 양분체와 직각대칭적으로 일치되게 하는 난시교정장치.

청구항 17.

제15항에 있어서, 상기 외과적 매개변수를 결정하는 수단은 양분체에서 측정한 난시의 축에서 어느 것이 "규칙에 따르는"(with the rule) 방향에 더 가까운지를 결정하고, 외과적 조정을 통해 다른 양분체의 난시축방향을 변경하여 다른 쪽의 양분체에서 상기 축을 "규칙에 따르는" 방향에 더 가까운 축과 일치하는 방향으로 움직이게 하는 난시교정장치.

청구항 18.

제17항에 있어서, 상기 외과적 조정은 목표유도난시력을 상기 다른 쪽 양분체에 가하는 것으로 이루어진 난시교정장치.

청구항 19.

제1항에 있어서, 상기 난시값의 합은, 굴절과 지형에서 영이 아닌 상기 목표 난시값의 수치와 동일한 벡터를 얻기 위해, 굴절적으로 그리고 지형적으로 측정한 크기와 축의 값을 벡터상 빼는 것으로 이루어진 난시교정장치.

청구항 20.

제19항에 있어서, 상기 외과적 매개변수를 결정하는 수단은 두배각벡터표 상에서 지형적으로 굴절적으로 측정한 난시값을 벡터적으로 빼는 난시교정장치.

청구항 21.

제19항에 있어서, 상기 외과적 매개변수를 결정하는 수단은 굴절이나 지형상 각각의 영이 아닌 목표 난시값을 얻기 위해 지형적이나 굴절적으로 측정한 상기 난시값을 조정하는(intermediate) 목표유도난시벡터를 선택하는 난시교정장치.

청구항 22.

굴절 난시측정과 지형 난시측정을 고려하여 환자 눈의 난시를 외과적으로 교정하는 장치에 있어서,

환자눈의 각막 지형에 근거하여 환자 눈의 난시 축과 크기를 측정하는 수단,

상기 눈의 굴절 교정에 근거하여 환자눈의 난시 축과 크기를 측정하는 수단,

굴절성 난시측정과 지형성 난시측정, 이 두가지에 근거하여 외과적 매개변수를 결정하는 수단, 및

상기 외과적 매개변수에 따라 눈을 외과적으로 치료하되, 상기 외과적 변수는

a) 굴절과 지형에서 각각 영이 아닌 목표난시값을 얻기위해, 한편으로는 지형으로 측정한 난시값을 굴절로 측정한 난시값에 더하고, 다른 한편으로는 굴절로 측정한 난시값을 지형으로 측정한 난시값에 더하고,

b) 상기 외과적 매개변수는 두개의 상기 목표 난시에 기반하여 확립하고,

c) 각막을 두개의 양분체로 간주하고, 각 양분체마다 독립적으로 상기 외과적 매개변수들을 결정함으로써 눈을 외과적으로 치료하는 수단

을 포함하는 외과적 난시교정 장치.

청구항 23.

제22항에 있어서, 상기 외과적 매개변수를 결정하는 수단은 두개의 양분체의 직각대칭적인 난시를 얻기 위해 각 양분체에서 굴절크기와 축의 값을 목표로 하여 두개의 양분체에서 최소 수준의 동일한 잔여 난시를 얻기 위해 굴절난시를 이동하는 난시교정장치.

청구항 24.

제22항에 있어서, 상기 외과적 매개변수를 결정하는 수단은 굴절측정한 난시 크기와 축의 값을 변화시키지 않고 직각대칭적인 난시를 얻기 위해 각 양분체에서의 지형크기와 축의 값을 목표하는 난시교정장치.

청구항 25.

제24항에 있어서, 두개의 양분체에 적용된 외과적 매개변수의 크기를 균등하게 하고 상기한 외과적 매개변수를 서로 90° 되는 지점에 두는 난시교정장치.

청구항 26.

제22항에 있어서, "규칙에 따르는" 방향으로 이동된 난시축과 직각대칭되는 난시를 얻기 위해 각 양분체에서 지형적 크기와 축의 값을 목표하는 것으로 이루어진 난시교정장치.

청구항 27.

제22항에 있어서, 잔여 난시의 최소값과 직각대칭적인 난시를 얻기 위해 지형상으로 상기 양분체의 각각의 축과 서로 비례하는 180°에서 상기 두개의 양분체에서 균등한 난시크기 값을 목표하는 것으로 이루어진 난시교정장치.

청구항 28.

제22항에 있어서, 예정된 축(predetermined axis)에서 난시방향과 직각대칭되는 난시를 얻기 위해 지형상으로 상기 양분체의 각각의 축과 서로 비례하는 180°에서 상기 두개의 양분체에서 균등한 난시크기 값을 목표하는 것으로 이루어진 난시교정장치.

청구항 29.

제22항에 있어서, 상기 외과적 매개변수는 목표된 지형 크기와 축을 가지고 상기 양분체에서 결정된 각막난시를 얻기 위해 서로 다른 두개의 양분체에 적용되어지는 난시교정장치.

청구항 30.

굴절성난시측정과 지형성난시측정을 고려하여 환자눈의 난시를 외과적으로 교정하는 장치에 있어서

환자 눈의 각막지형에 근거하여 환자눈의 난시축과 크기를 측정하는 수단,

상기 눈의 굴절 교정에 근거하여 환자눈의 난시축과 크기를 측정하는 수단,

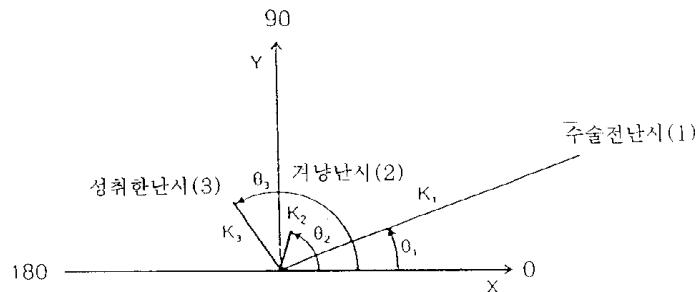
굴절과 지형 이 두 방법에 의한 난시측정에 기반하여 외과적 매개변수를 결정하는 수단, 및

지형과 굴절로 측정하여 얻어지는 최소의 결과로 생기는 난시 또는 난시축이나 또는 눈의 직각 대칭의 정해진 변화(shift)를 만들어낼 외과적 매개변수를 얻기 위해 지형과 굴절에 근거하여 측정한 난시값을 결합하는 수단

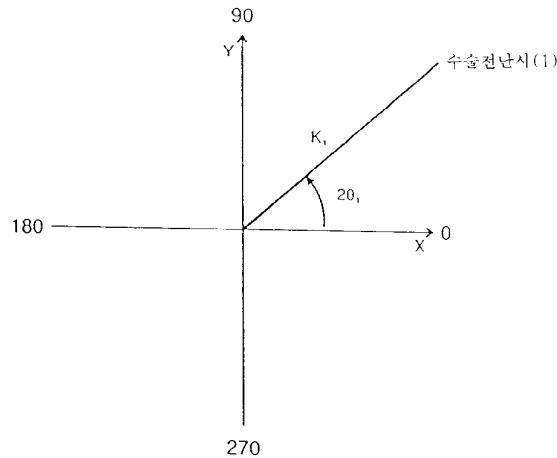
을 포함하는 눈을 외과적으로 치료하는 장치.

도면

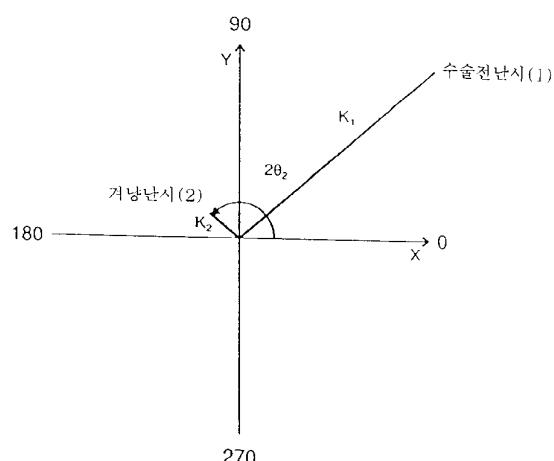
도면 1



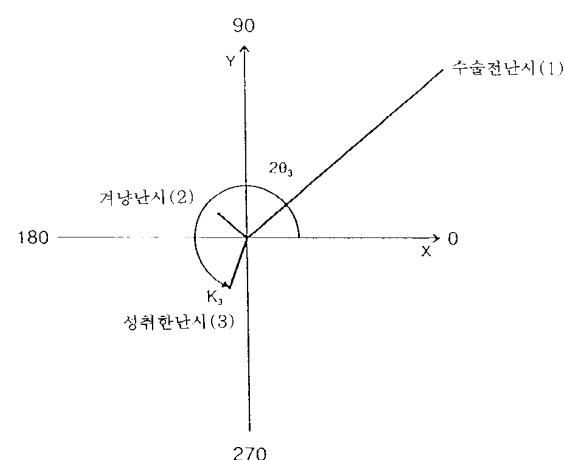
도면2



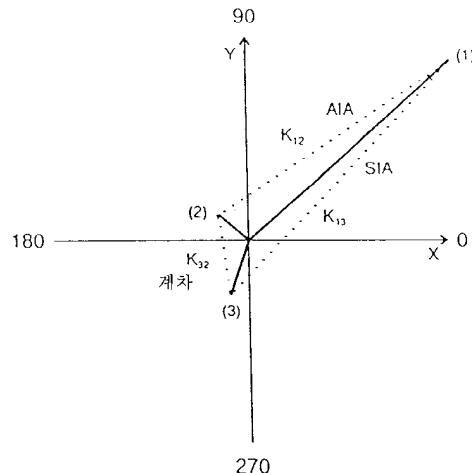
도면3



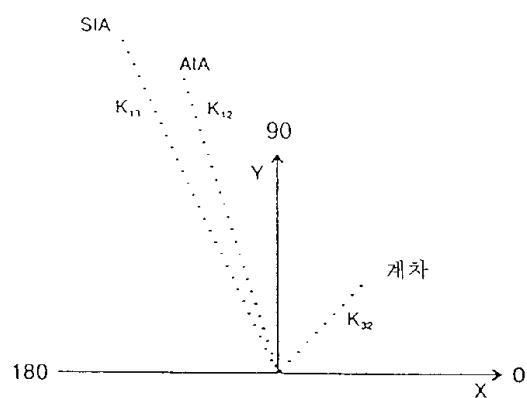
도면4



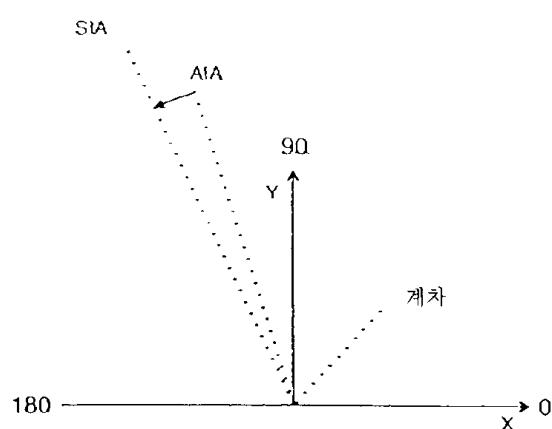
도면5



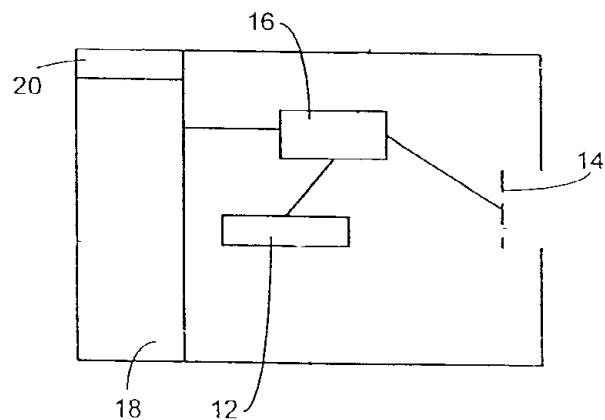
도면6



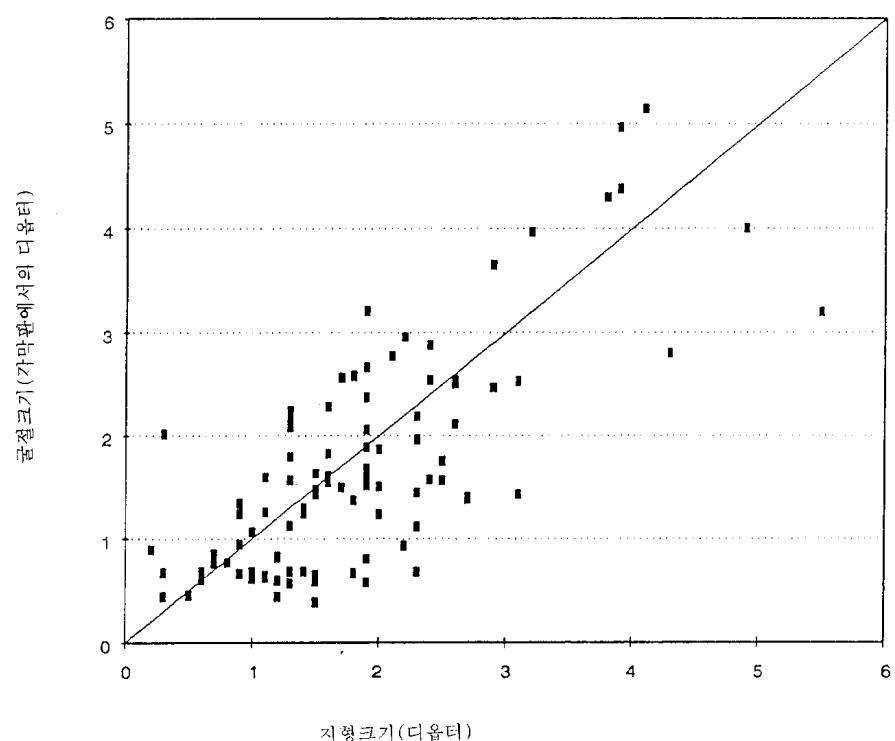
도면7



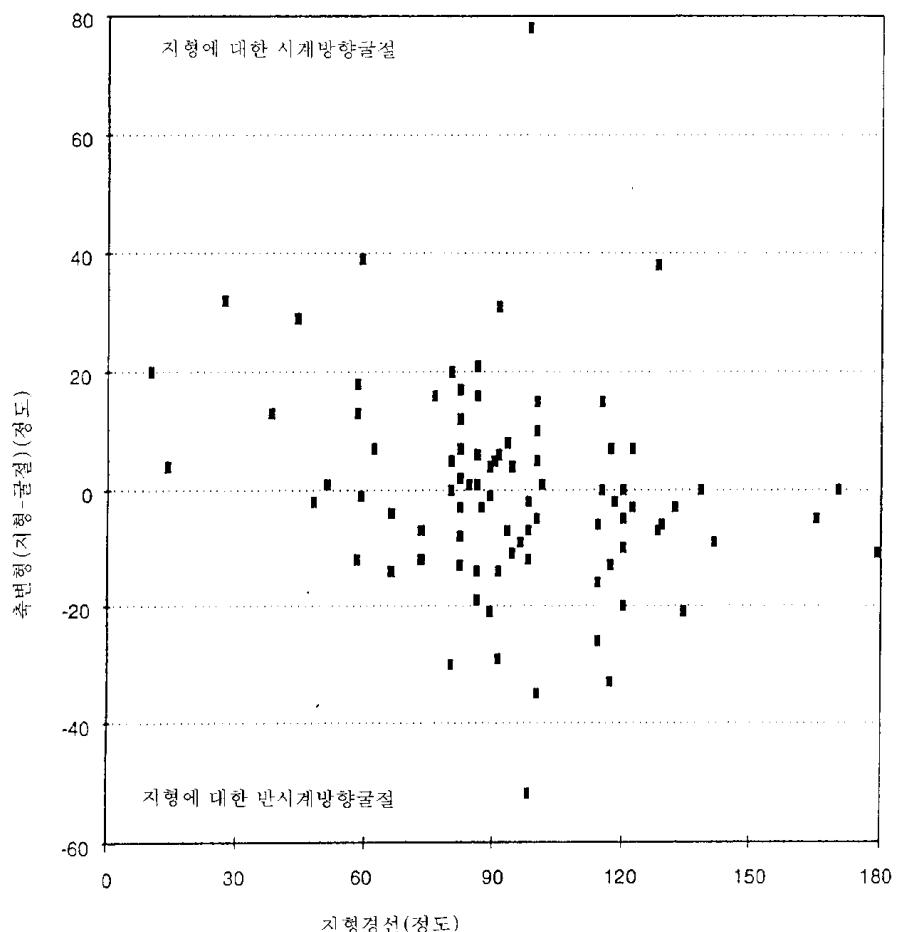
도면8



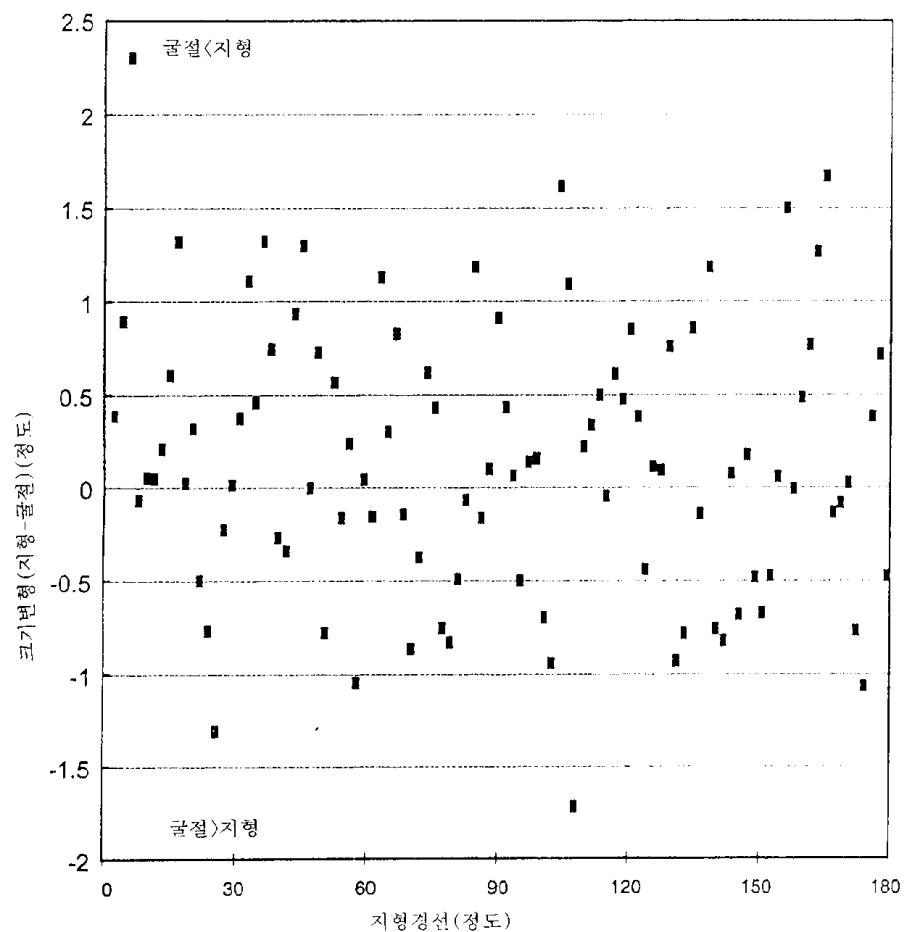
도면9



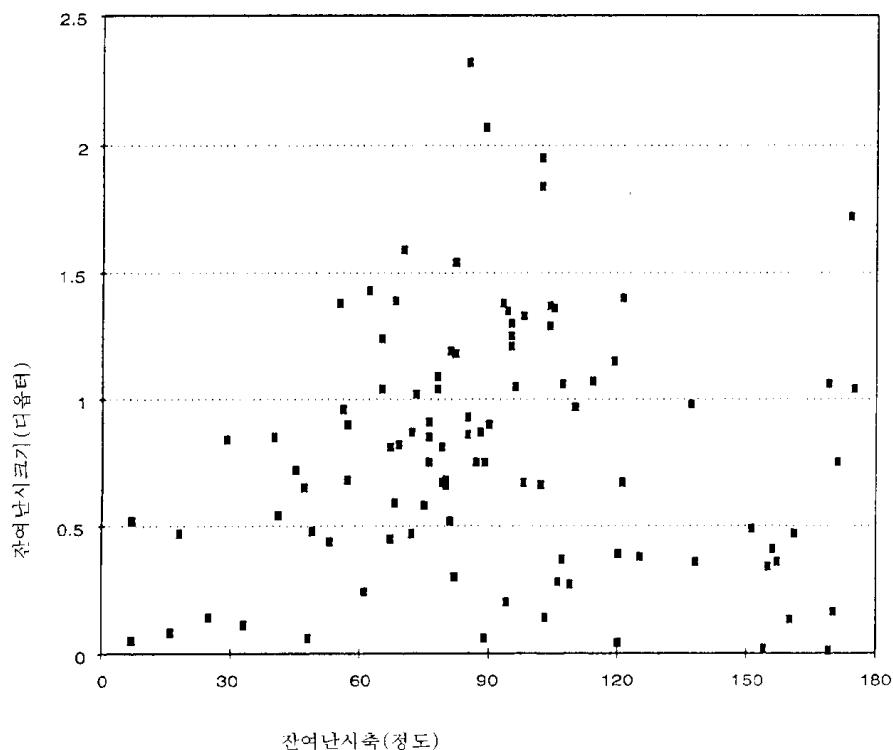
도면10



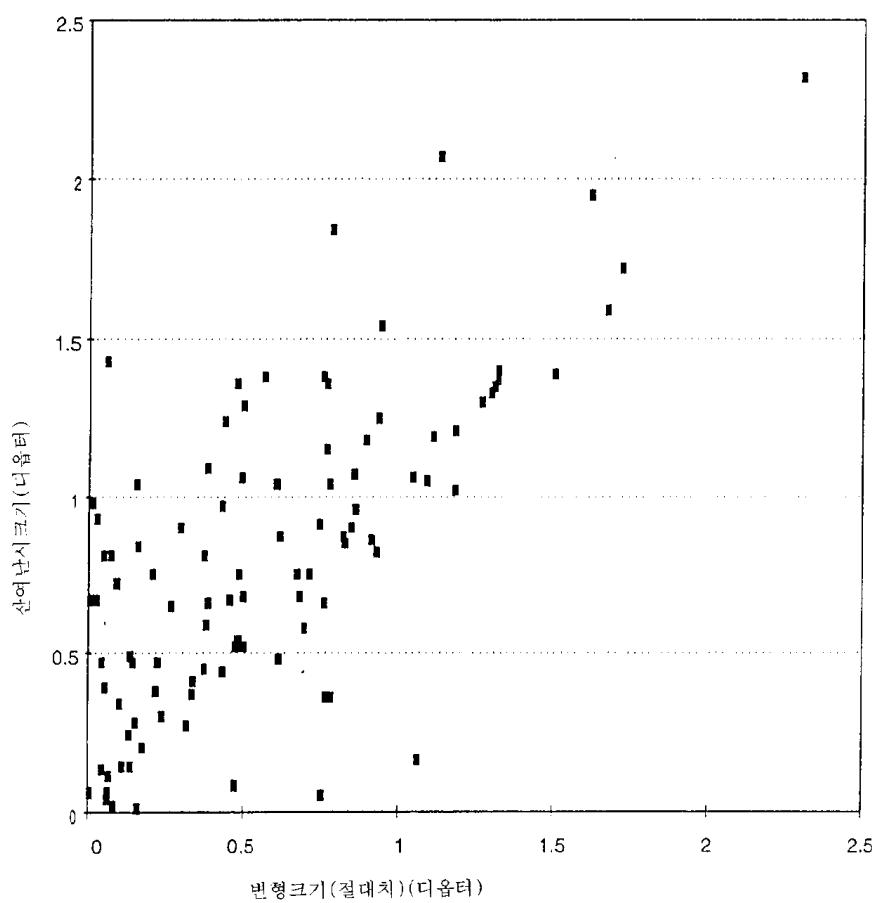
도면11



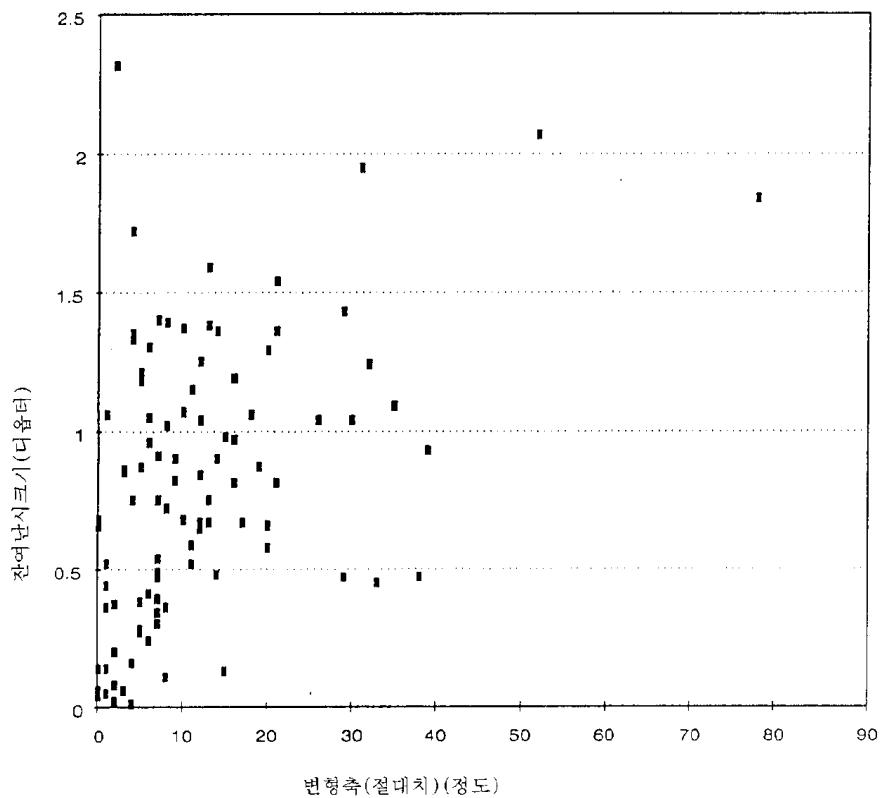
도면12



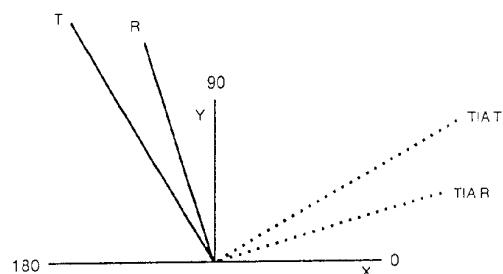
도면13



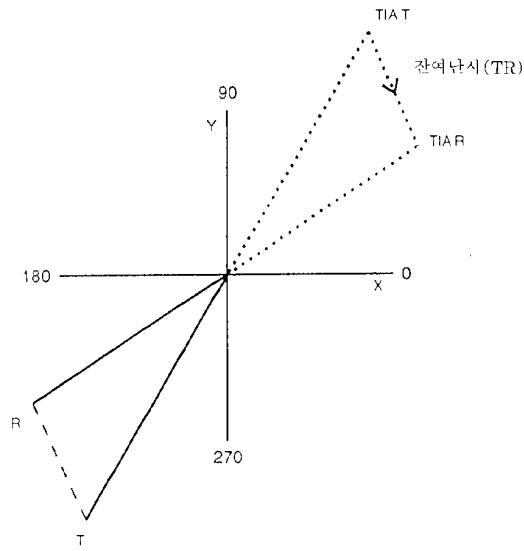
도면14



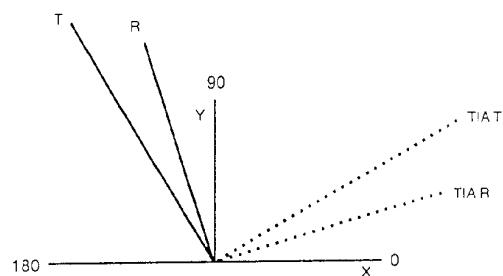
도면15a



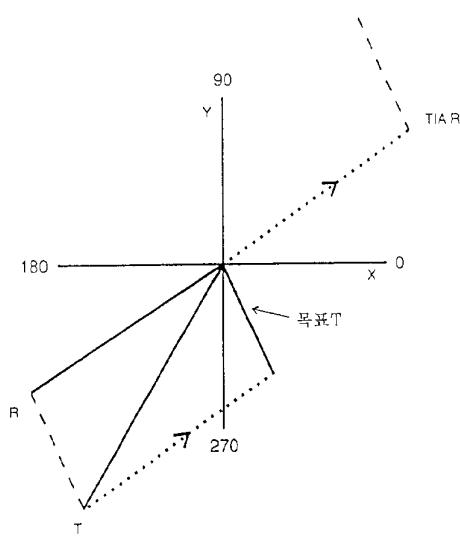
도면15b



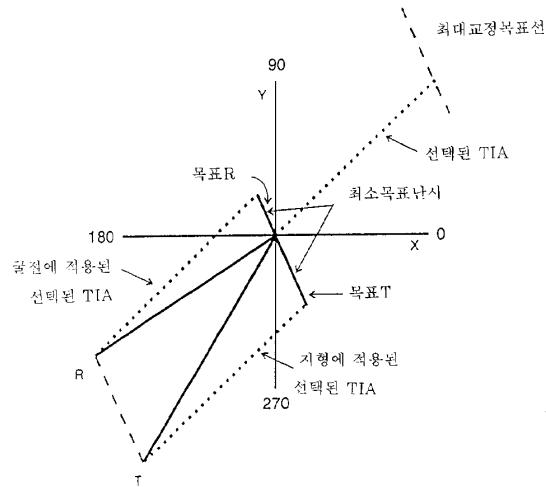
도면16a



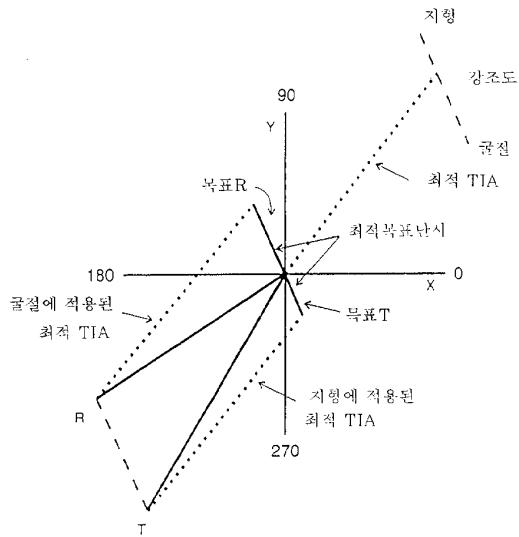
도면16b



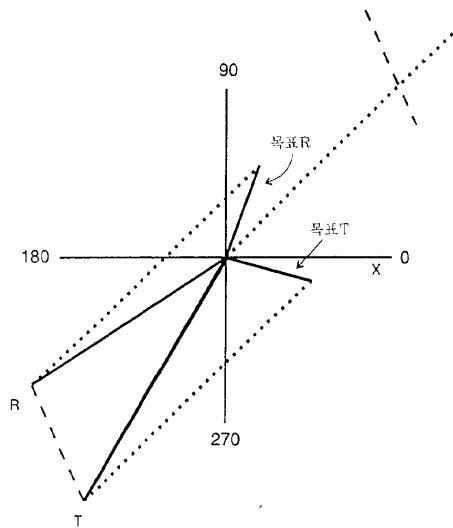
도면17a



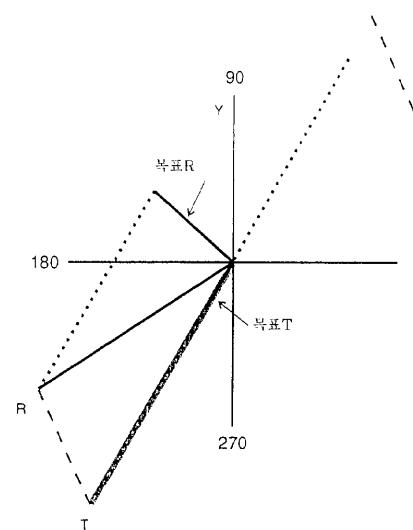
도면17b



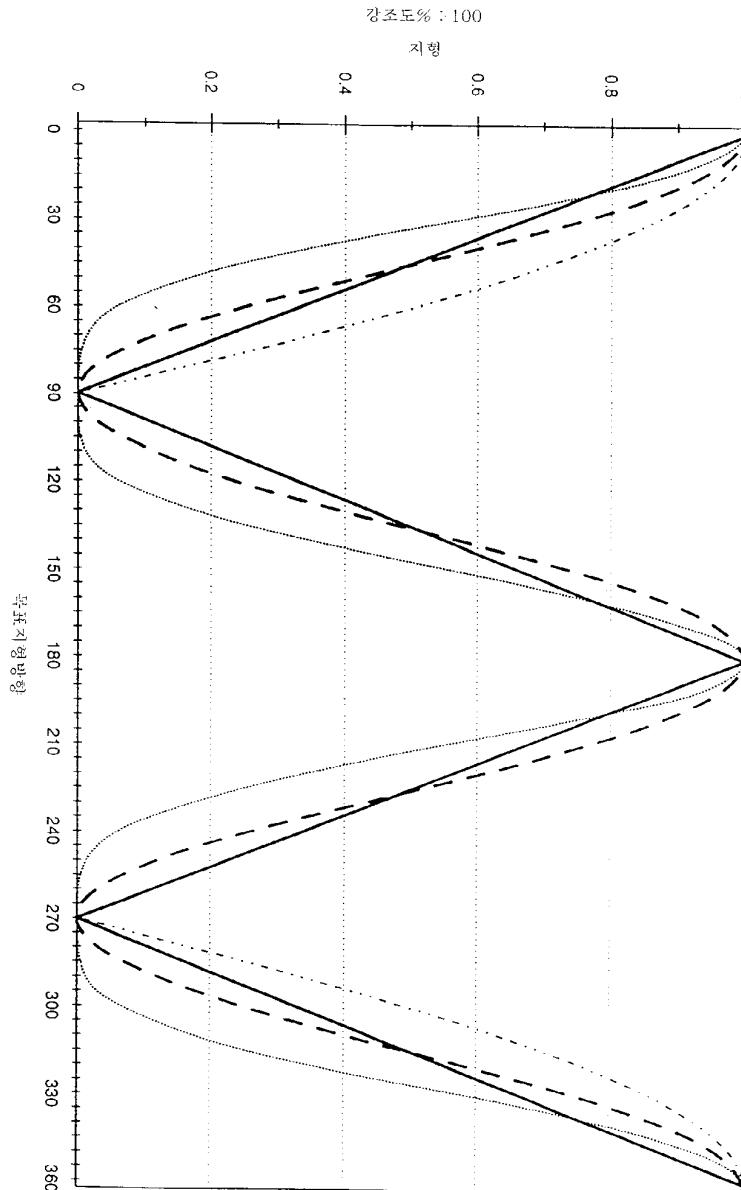
도면18a



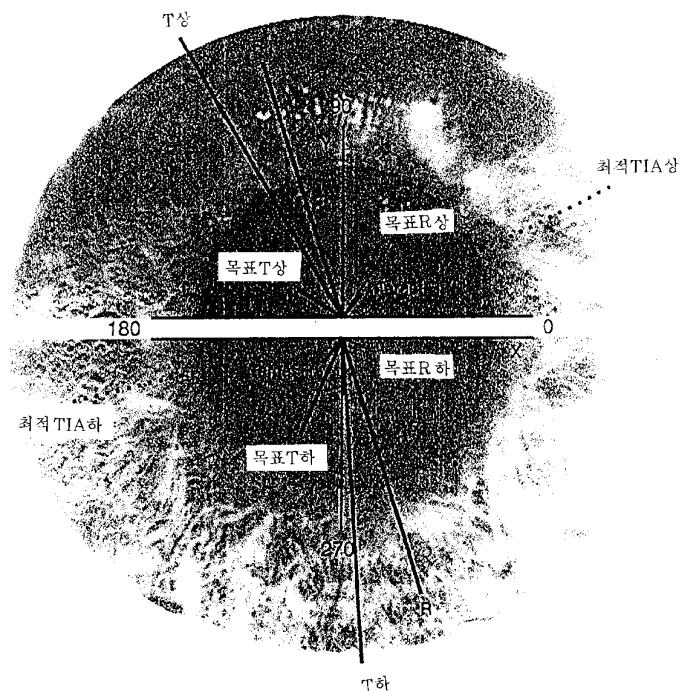
도면18b



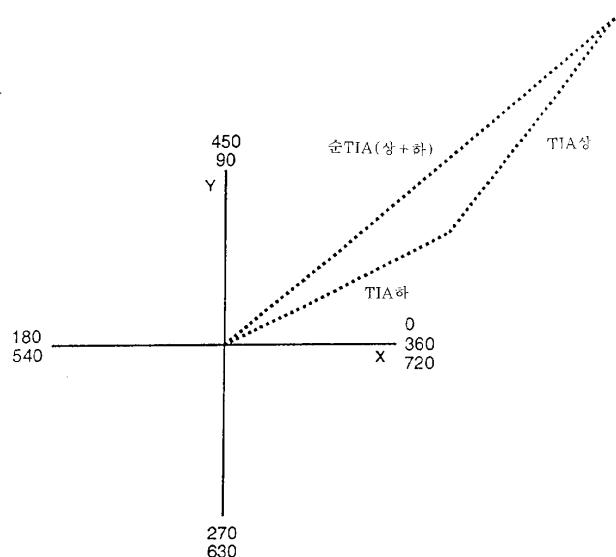
도면19



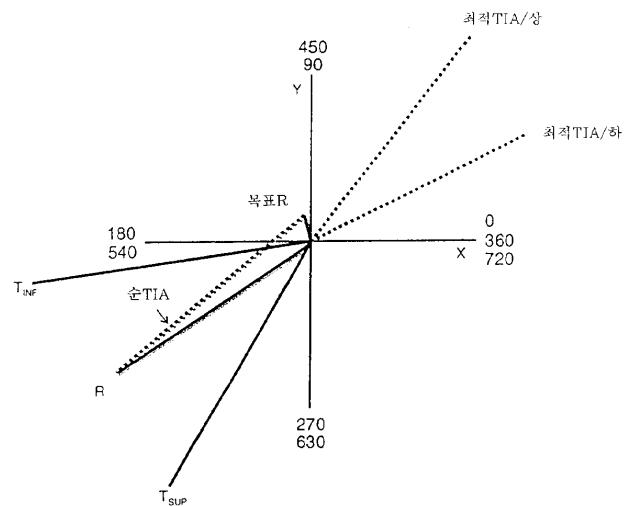
도면20a



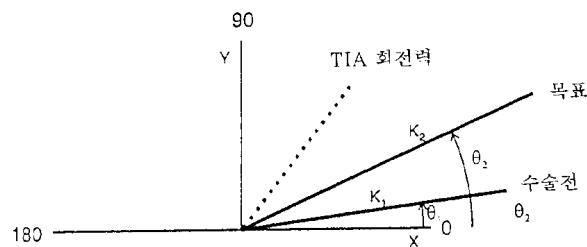
도면20b



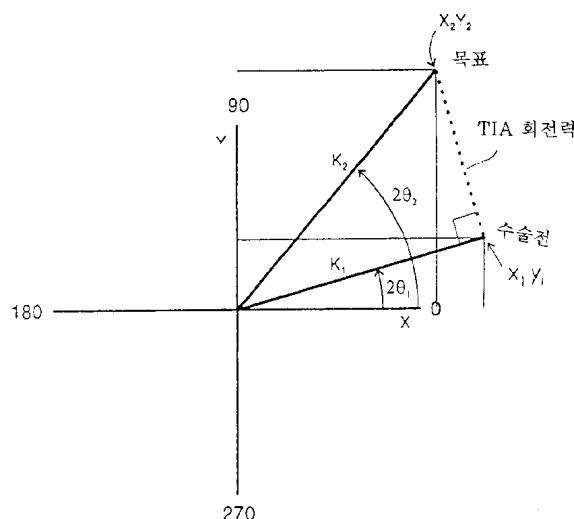
도면20c



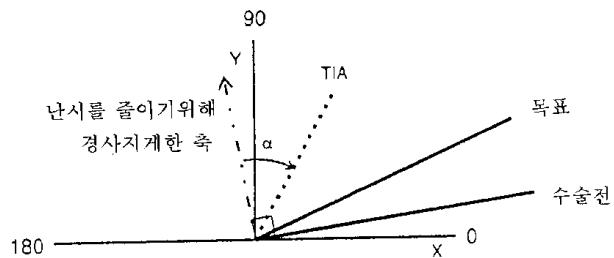
도면21a



도면21b

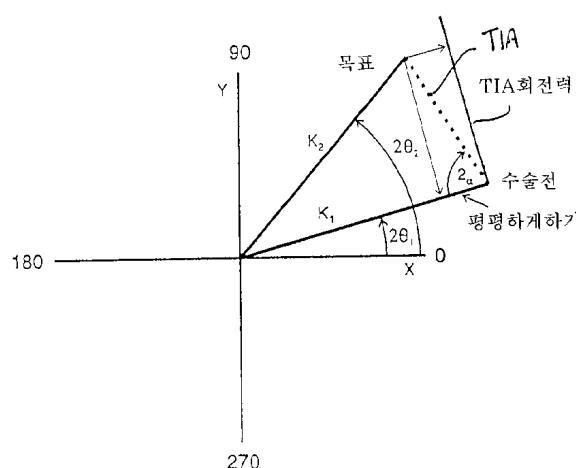


도면22a

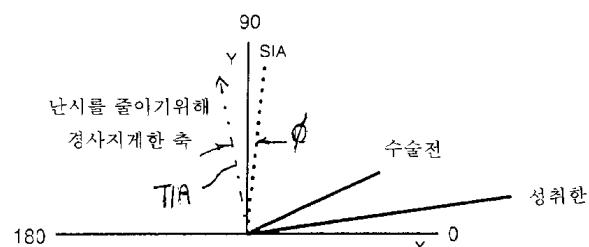


α = 축에서 벗어난 수술 위치량

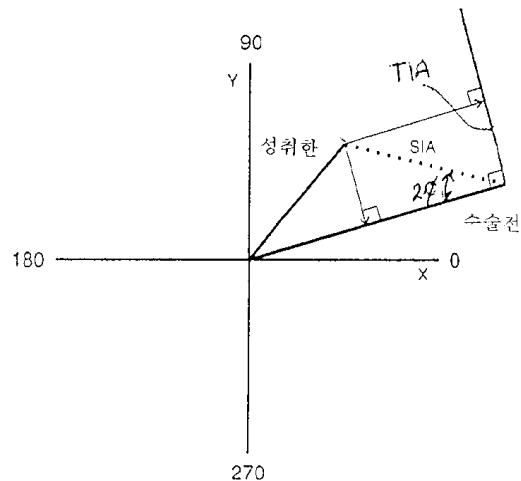
도면22b



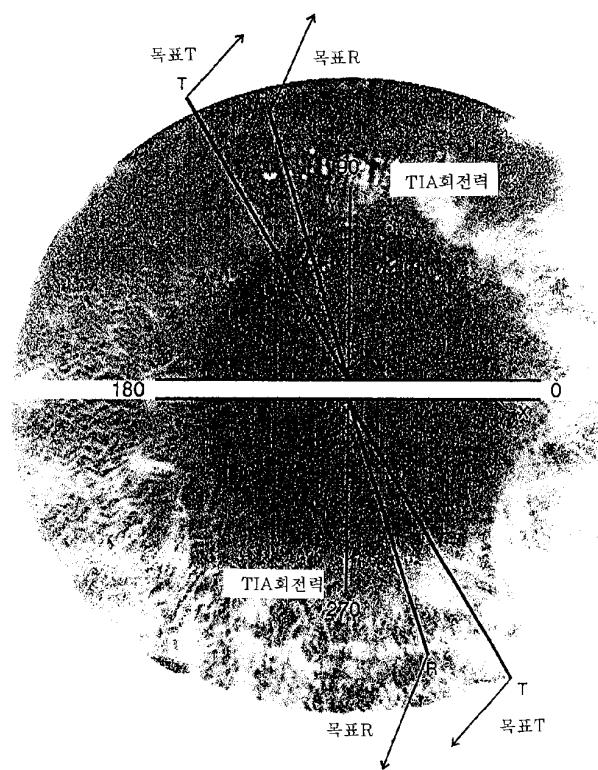
도면23a



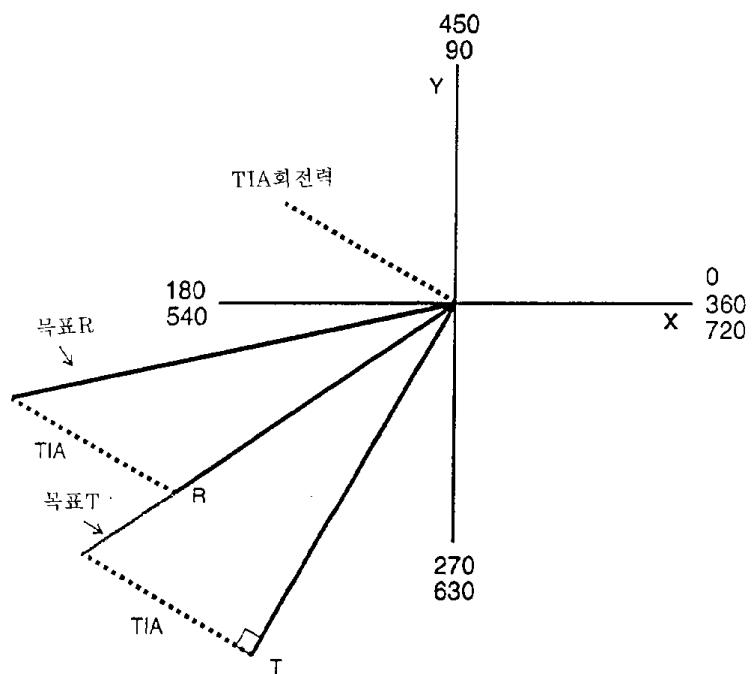
도면23b



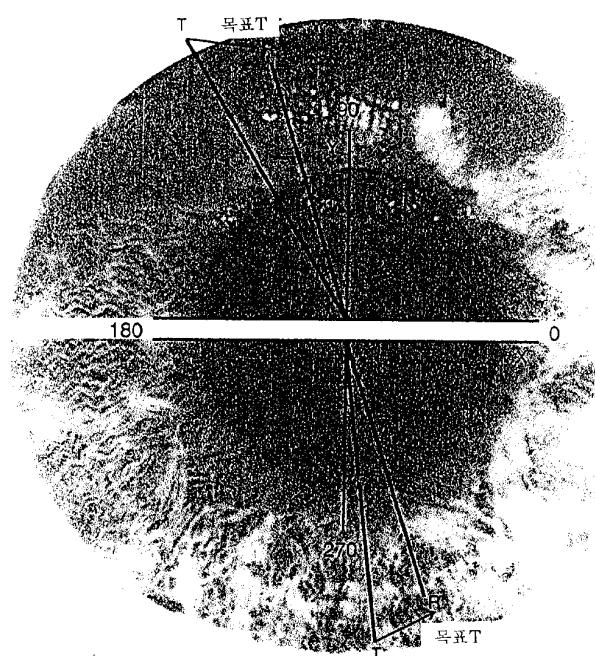
도면24a



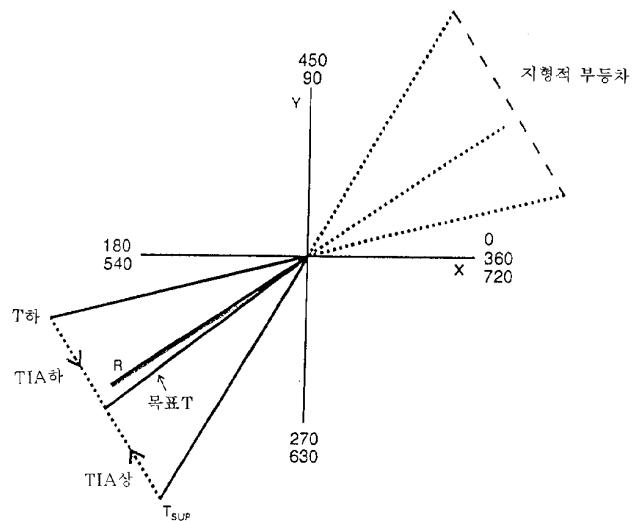
도면24b



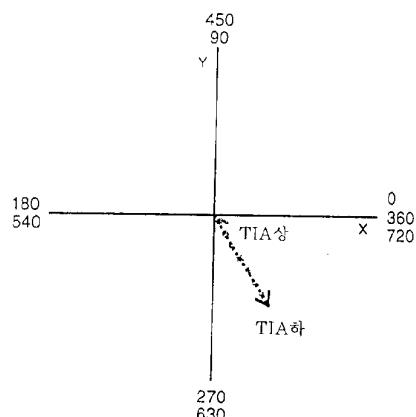
도면25a



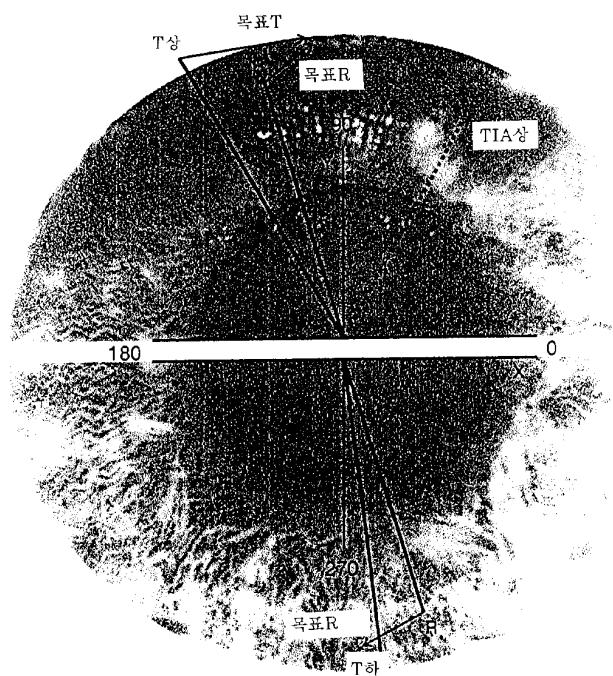
도면25b



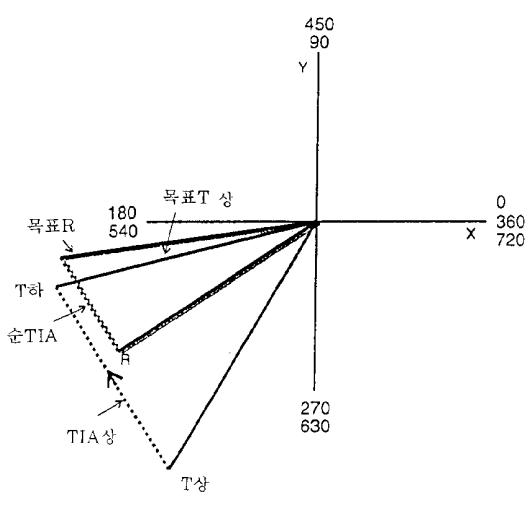
도면25c



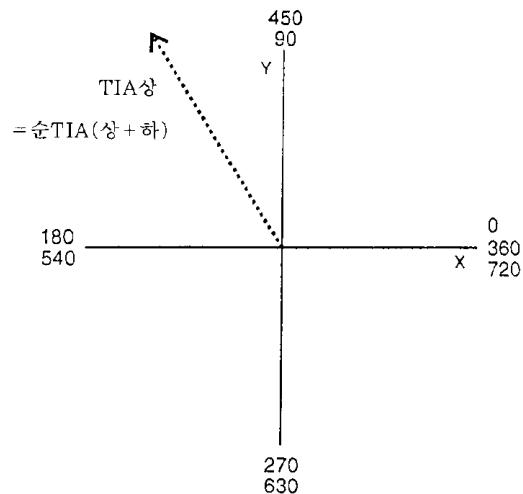
도면26a



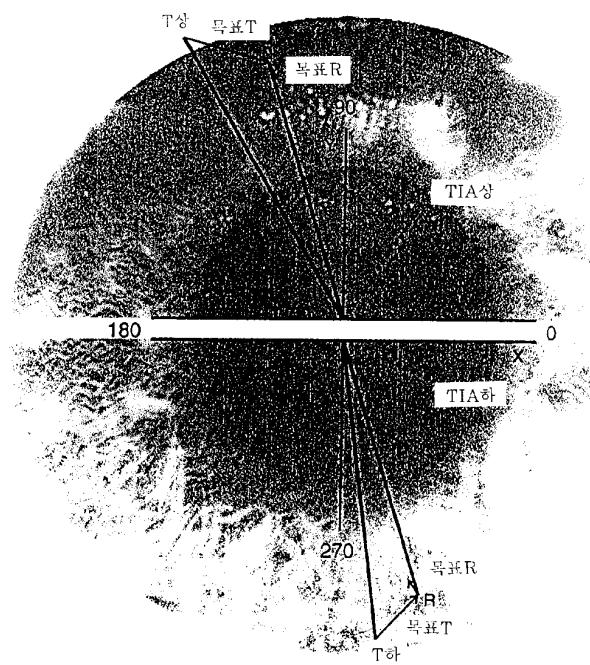
도면26b



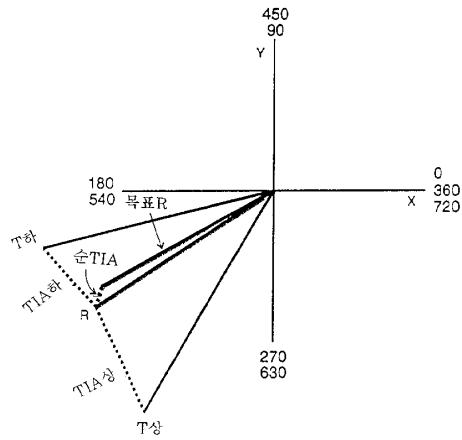
도면26c



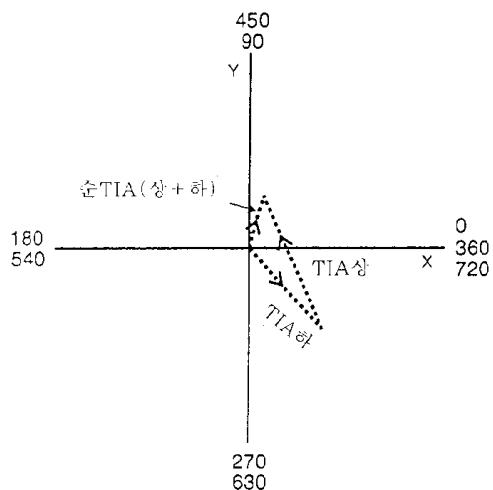
도면27a



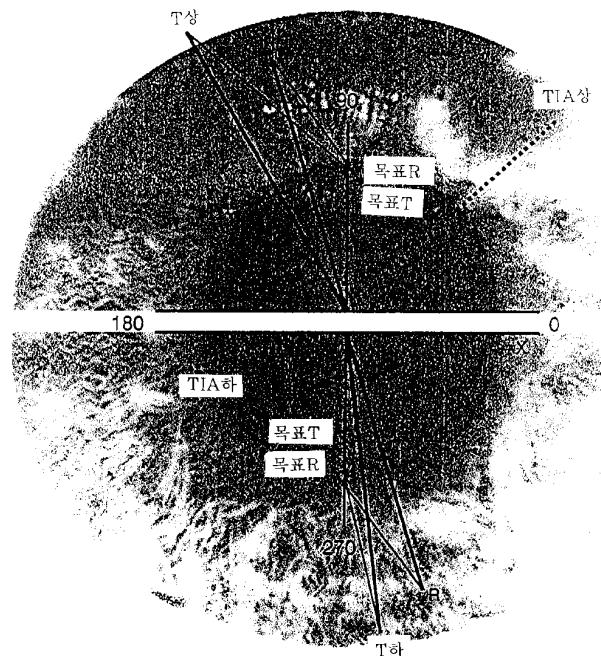
도면27b



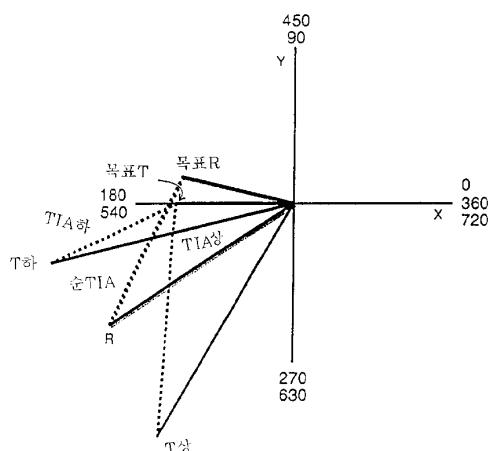
도면27c



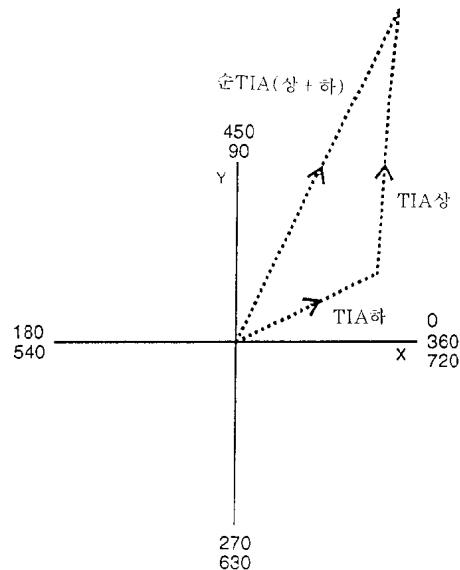
도면28a



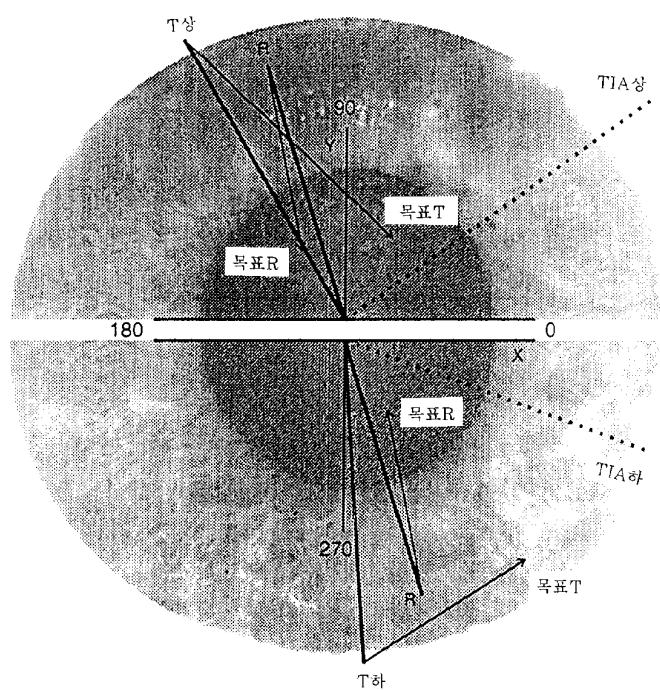
도면28b



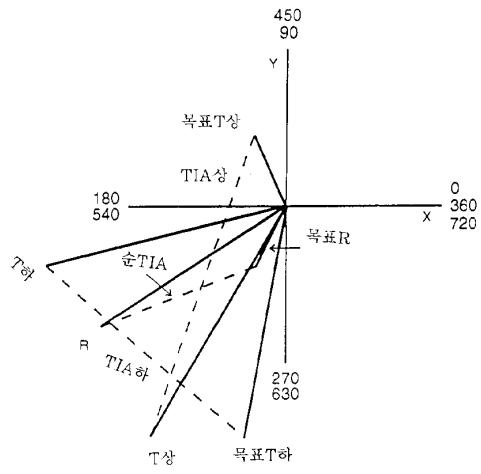
도면28c



도면29a



도면29b



도면29c

