

백색광 간섭계를 이용한 안구돌출값 측정

장중수* · 김영길**

*아주대학교

Exophthalmometric values using White-light Scanning Interferometer

Jung-Soo Chang* · Young-kil Kim**

*Ajou University

E-mail : d2osoft@ajou.ac.kr

요 약

안와 내에서 안구의 상대적 위치는 여러 병적인 상태를 짐작할 수 있는 하나의 기준이 될 수 있다. 특히 안와골절, 갑상선 안질환, 안와 종양 등의 진단과 이에 약물 및 수술적 치료의 결과를 판단하는데 유용하다. 현재 안구 돌출값을 측정하기 위해 주로 사용되는 대표적 측정 기기인 Hertel 안구 돌출계와 Naugle 안구돌출계 등은 측정자에 의한 오차가 필연적이다.

본 논문에서는 안구 돌출값의 측정을 3차원 영상 측정기술인 백색광 간섭계를 이용하여 검사 정밀도 및 반복정도를 크게 올릴 수 있는 자동화 측정 방법에 대한 연구를 제안하고자 한다.

ABSTRACT

The relative position of the eyeballs in the orbit can be a criterion for estimating multiple pathological conditions. Especially, it is useful to diagnose orbital fracture, thyroid eye disease, orbital tumor, and to evaluate the result of drug and surgical treatment. The Hertel and the Naugle exophthalmometer, which are typical measuring instruments used mainly to measure the protrusion of the eye, are inevitably error by the measurer.

In this paper, we propose a method to increase the accuracy and repeatability of the measurement of eyeball exophthalmometric values by using a white light interferometer.

키워드

Exophthalmometric values, White-light Scanning Interferometer, Image processing

1. 서 론

안와 내에서 안구의 상대적 위치, 즉 안구의 돌출 정도는 여러 안와 골절, 갑상선 안질환, 안와 종양 등과 같은 안와 내의 여러 병적인 상태를 진단 및 치료에 대한 약물 및 수술적 치료에 있어서 매우 중요한 역할을 한다.[1]

현재 안구 돌출을 측정하는 제품 중 가장 많이 사용하는 것은 각막의 정점에서 외안와연의 가장 심부를 지나서 전두면까지의 수직 거리를 측정하는 Hertel 안구돌출계와 상, 하 안와연을 고정부위로 하는 superior and inferior orbital rim based exophthalmometer, 일명 Naugle 안구돌출계이다.[1-3]

하지만 위의 안구돌출계들은 검사자가 다를 경

우 또는 동일한 검사자라 하더라도 검사할 때마다 안와의 고정 부위 위치가 변할 수 있기 때문에 그 측정값은 검사할 때마다 달라질 수 있다. 검사자가 다를 경우에 위의 안구돌출계들의 측정 오차는 일반적으로 $\pm 1.0\text{mm}$ 에서 $\pm 1.5\text{mm}$ 까지 차이가 발생할 수 있다고 연구되어져 있으며, 안구돌출계의 제작회사가 다르고 위치 고정 부위의 모양이 달라 발생하는 검사자간 측정기준이 다를 경우 최대 3mm이상의 측정 오차가 발생된 연구도 발표되었다. 일반적으로 한국 성인의 안구돌출값을 13.6-14.7mm라고 알려져 있으나, 발표된 연구마다 다소 차이가 있어 16.5mm, 18.9mm등으로 매우 크게 측정된 경우도 있어 절대적인 안구 돌출값은 측정 환경에 따라 그 편차가 매우 크다는 것

을 알 수 있다.[1, 2]

따라서 안구돌출 정도를 측정하는 방법 중 재현성(reproducibility)이 높은 기구가 필요성이 높아지고 있고 재현성이 높을수록 안와질환 정도를 더 정확히 판단하고 변화를 비교하는데 큰 도움을 얻을 수 있다.[4, 5]

본 연구에서는 백색광 주사 간섭계(WSI - white light scanning interferometer)를 이용하여 각막의 정점과 외안와연의 가장 심부를 지나는 전두면의 높이를 측정하여 그 차이를 안구돌출값으로 수치화하여 재현성이 높은 측정값을 얻을 수 있는 측정기 구현에 대한 연구를 수행하였다.

II. 시스템 구성

2.1. 백색광 간섭계

백색광 간섭계는 넓은 주파수의 광원을 고르게 가진 백색광을 이용하여 3차원 측정에 사용하는 측정 기술로서 1982년에 최초로 Balasubmanian에 의해 측정기로서 발표 되었고, 이후 1987년 Dvasion에 의해 “Coherence Probe Microscope”라는 이름으로 처음 상용화되었다. 백색광 간섭계는 비교적 구성이 간단하고 검사 속도가 빠르다는 장점을 가지고 있어 현재까지도 많은 연구가 이루어지고 있다. [6]

백색광 간섭계는 그림 1과 같이 light source에서 광원이 출발하여 대상물체에 인접한 beam splitter에 의해 분광이 된다. 이때 Beam splitter를 통과하여 측정 대상체로 향하는 빛을 측정광, 반사하여 reference mirror로 향하는 빛을 기준광이라고 부르며 이 분광된 빛이 다시 합쳐져서 Sensor를 향할 때는 두 광이 지난 거리 차에 따라 간섭무늬가 발생하게 된다. 이러한 원리를 이용하여 미세제어가 가능한 actuator를 일정한 속도로 이동시키며 image를 분석하게 되면 간섭무늬의 intensity profile 구할 수 있고 가장 강한 intensity를 가진 위치를 구하여 대상물의 특정 포인트에 대한 상대적 높이값을 알 수 있으며 획득된 image의 전 영역에서 3차원 높이 정보를 얻을 수 있다.[6, 7]

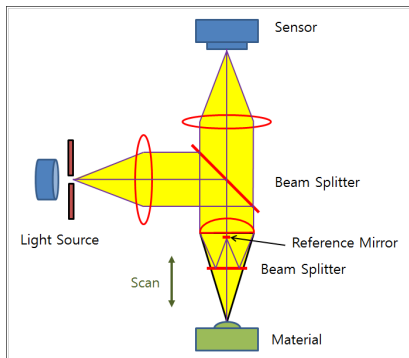


그림 1. 백색광 간섭계의 원리

2.2. 시스템 구성

그림 2와 같이 백색광 간섭계는 수직으로 설치하였고, 사람의 눈에 악영향을 미치지 않도록 IR Light, 사람에 따라 측정 목표(각막의 정점, 외안와연)의 위치가 달라져도 쉽게 측정 할 수 있도록 넓은 FOV(Field of view), 사람이 순간적으로 움직이지 않고 측정에 순응할 수 있는 짧은 시간 동안 측정 할 수 있도록 빠른 검사 시간 등을 고려하여 이미 개발된 제품을 사용하였고, 의안은 실제 안구와 시각적으로 매우 흡사한 제품을 사용하였다.

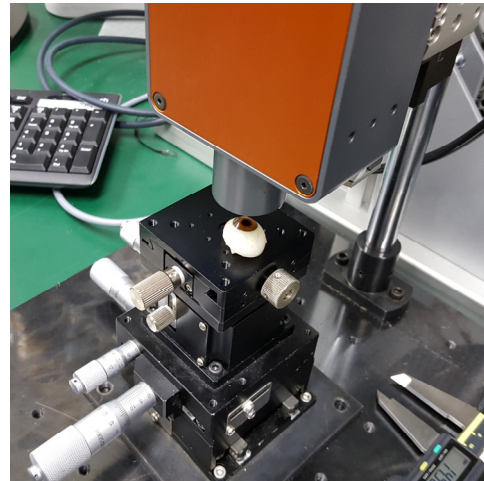


그림 2. 시스템 구성

백색광 간섭계는 그림 3과 같은 HeliInspect H4 (Helioris, 스위스)를 사용하였고 주요 스펙은 표 1과 같다.

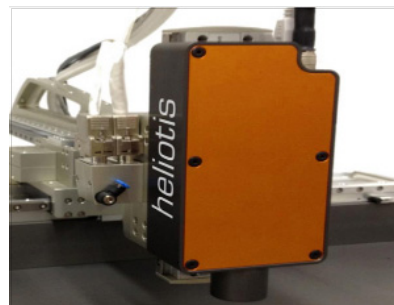


그림 3. 백색광 간섭계 (HeliInspect H4)

표 1. 백색광 간섭계의 주요 사양

item	specification
3D sensor	heliSense s3
light source	IR LED
FOV	11.12 x 11.6 mm
resolution(x, y)	10 μm
resolution(vertical)	0.1 μm
scan speed	3 mm/s

측정 대상체인 사람의 눈은 그림 4와 같이 의안(CR-1095-G20, 캐나다)으로 대체하였다.

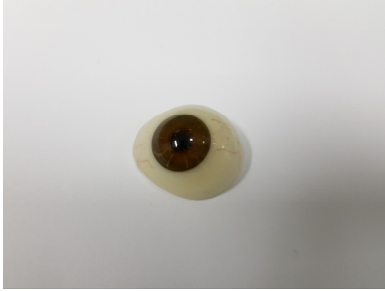


그림 4. 의안 (CR-1095-G20)

2.3. 실험 방법

그림 5과 같이 의안의 중심부로 광학계(백색광 간섭계)를 위치시키고 actuator(stepping motor)를 30.6mm에서 27.8mm까지 2.8mm를 수직으로 스캔한다. 이때, 28.0mm 지점부터 27.8mm 까지 0.2mm 구간에서 sensor에 얻어지는 간섭무늬(interferogram)들을 분석하여 그림 6과 같이 3D 데이터로 만들어 각막의 정점 위치 데이터를 얻는다.

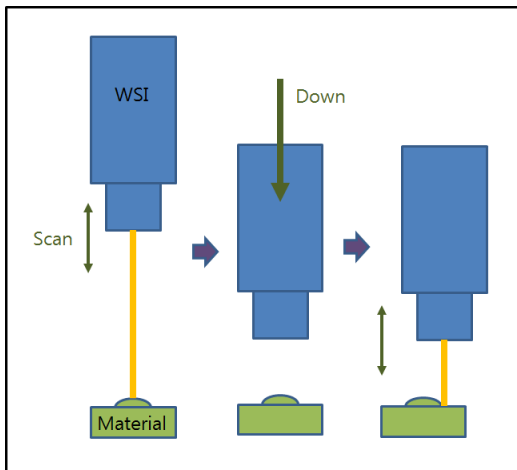


그림 5. 실험 방법 및 순서

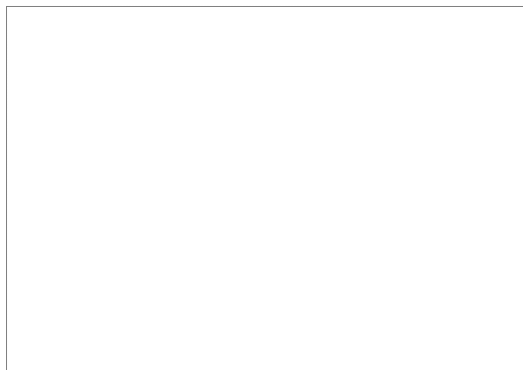


그림 6. 3D 높이 측정 결과

외안와연의 높이 데이터를 얻기 위해 광학계를 의안의 가장자리 부근으로 위치시키고, 일반적인 성인 한국인의 안구 돌출도로 알려져 있는 대략적인 높이(14.8mm)만큼 actuator의 초기위치를 이동하여 15.8mm에서 13.0mm까지 각막의 정점 높이를 얻을 때와 동일하게 2.8mm를 이동하며 의안 하부 끝의 높이 데이터를 얻는다.

III. 결과

표 2와 같이 의안의 최고 높이와 최저 높이의 측정은 각각 50회씩 실시하였고, 각각의 평균값과 표준편차를 구하였다. 안구의 정점에 해당하는 최고점의 평균 높이는 $379.469 \pm 10.619 \mu\text{m}$, 최저점은 $0.617 \pm 0.267 \mu\text{m}$ 이고 이때 actuator의 두 측정 지점 간 수직 이동거리는 14.8mm이므로 최고점과 최저점간의 높이는 “(최고점 - 최저점)+측정 지점 간 수직 이동거리” 로 계산된다.

표 2. 의안의 최고점, 최저점의 위치 측정값과 표준편차 (mean±standard deviation, μm)

구분	최고점	최저점
측정값	379.469 ± 10.619	0.617 ± 0.267

표 3은 총 50회 최고점과 최저점을 측정한 값으로 계산된 높이 값이고 평균 $15.179 \pm 0.011\text{mm}$ 의 결과를 나타낸다. 즉, 실험에 사용된 의안을 백색광 간섭계를 사용하여 측정한 결과는 평균 15.179mm의 높이를 가지며 $\pm 0.011\text{mm}$ 의 측정 오차를 가진다.

표 3. 의안의 최저점에서 최고점까지의 높이(mm)

No.	value	No.	value	No.	value
1	15.156	18	15.170	35	15.189
2	15.176	19	15.181	36	15.185
3	15.167	20	15.179	37	15.201
4	15.172	21	15.184	38	15.186
5	15.166	22	15.170	39	15.191
6	15.186	23	15.183	40	15.184
7	15.160	24	15.193	41	15.179
8	15.182	25	15.189	42	15.184
9	15.160	26	15.171	43	15.186
10	15.182	27	15.194	44	15.183
11	15.172	28	15.170	45	15.193
12	15.173	29	15.181	46	15.178
13	15.173	30	15.179	47	15.193
14	15.163	31	15.184	48	15.183
15	15.165	32	15.170	49	15.195
16	15.171	33	15.183	50	15.192
17	15.194	34	15.193		

IV. 결 론

본 연구에서는 안와 내의 여러 병적인 상태를 진단 및 치료에 있어서 매우 중요한 측정값 중 하나인 안구의 돌출 정도를 측정하는 방법에 대해 새로운 제안에 의한 실험을 진행하였다. 기존에 가장 많이 사용되고 있는 Hertel 안구돌출계와 Naugle 안구돌출계의 수동식 측정 방법은 검사자가 달라질 때 또는 동일 검사자라도 검사를 할 때마다 측정 기준 위치가 달라지고 검사자의 눈으로 눈금을 읽어 그 수치를 인식하여 측정하는 방식으로 사람에 의한 제거 불가능한 필연적인 오차가 발생된다. 이때 발생하는 오차를 백색광 간섭계를 이용한 3D 자동화 측정 시스템으로 구축하여 안구 돌출을 높이 값으로 측정하여 반복 재현성을 개선하고자 하였다.

기존의 수동식 방식으로 측정하는 안구 돌출값은 발표되는 연구마다 차이를 가지고 있고 평균적으로 1.0~1.5mm의 측정 오차가 있는 것으로 알려져 있지만 본 연구에서 제안한 백색광 간섭계를 이용한 측정값은 $\pm 0.011\text{mm}$ 의 오차로 나타나 기존 수동식 안구돌출계 측정 오차의 4.4% 수준으로 거의 오차가 없다고 볼 수 있다.

본 연구의 결과로 미루어 볼 때 제안된 방법으로 실제 사람의 안구돌출도를 측정할 수 있는 장비로 구성한다면 기존의 수동식 안구돌출계를 이용하는 방법보다 매우 재현성이 높게 안구돌출값을 측정할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] 국경훈 김용국 이상렬, Hertel 안구돌출계와 Naugle 안구돌출계를 이용하여 측정한 한국인의 안구돌출값, 대한안과학회지, 44, 10-15, 2003
- [2] 광상인, 다른 제작회사의 허텔씨 안구 돌출계 측정값의 비교, 대한안과학회지, 40[9], 2349-2356, 1999
- [3] 김형은 유혜린 윤영수, 소아에서 Hertel 안구돌출계로 측정한 안구돌출값, 대한안과학회지, 50[3], 336-339, 2009
- [4] 황재효 이상렬 김성주, Hertel 안구돌출계와 Naugle 안구돌출계에 의한 안구돌출값의 재현성 (reproducibility) 비교, 대한안과학회지, 40[2], 293-298, 1999
- [5] Emeka Nkenke, Relative en- and exophthalmometry in zygomatic fractures comparing optical non-contact, non-ionizing 3D imaging to the Hertel instrument and computed tomography, Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, 32[6], 362-368, 2003
- [6] 이성훈 고국원 고정철 조수용, LCD 부품 검사를 위한 백색광 주사 간섭계(White light Scanning Interferometry) autofocusing 장치 개발, 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, 3-4, 2006
- [7] 고국원 고정철 김종형, 백색광 간섭계를 이용한 LCD Glass의 Pole 높이 측정 검사, 한국정밀공학회지, 24[4], 21-28, 2007