

얼굴 전산화단층촬영 사진을 이용한 안구용적측정치와 안축장과의 상관관계

Semi-automatic Measurement of Ocular Volume from Facial Computed Tomography and Correlation with Axial Length

정준규¹ · 박인기² · 최삼진³ · 신재호¹

Junkyu Chung, MD¹, In Ki Park, MD, PhD², Samjin Choi, PhD³, Jae-Ho Shin, MD, PhD¹

경희대학교 의학전문대학원 강동경희대학교병원 안과학교실¹, 경희대학교 의학전문대학원 경희의료원 안과학교실²,
경희대학교 의과대학 의공학교실³

Department of Ophthalmology, Kyung Hee University Hospital at Gangdong, Kyung Hee University School of Medicine¹, Seoul, Korea

Department of Ophthalmology, Kyung Hee University Medical Center, Kyung Hee University School of Medicine², Seoul, Korea

Department of Bioengineering, Kyung Hee University School of Medicine³, Seoul, Korea

Purpose: To measure the ocular volume from facial computed tomography (CT) scans using a semi-automatic computer program, and to analyze possible correlations between the axial length and ocular volume using regression analysis.

Methods: Forty eyes from 20 facial CT scans were used to measure the ocular volumes. The cross-sectional ocular areas were calculated using a semi-automatic program based on MATLAB r2009a (MathWorks, Inc., Natick, MA, USA), and the ocular volumes were calculated from serial cross-sectional areas. The axial lengths were measured by A-scan ultrasound. Statistical analysis including regression analysis was used to determine possible correlations between the ocular volumes and axial lengths.

Results: The mean ocular volumes measured in males and females were $7.16 \pm 1.80 \text{ cm}^3$ and $7.24 \pm 3.38 \text{ cm}^3$, respectively. The mean axial lengths measured in males and females were $23.47 \pm 0.69 \text{ mm}$ and $23.23 \pm 1.64 \text{ mm}$, respectively. There were positive correlations using Pearson's correlation coefficient and the partial correlation coefficient adjusted by axial length. Using regression analysis, the following statistically significant equation was derived: (ocular volume [cm^3] = $0.0056558 \times \text{axial length}^3 [\text{mm}^3] - 0.1798106 \times \text{axial length}^2 [\text{mm}^2] + 32.9008570$ [$p < 0.001$, $R^2 = 0.384$]).

Conclusions: The ocular volume measurement tool in this study was noninvasive and very useful, without special equipment. Accurate estimation of ocular volumes by a statistical equation was feasible, and these findings may be helpful in further study of various ocular diseases and in predicting preoperative and postoperative ocular volumes.

J Korean Ophthalmol Soc 2019;60(3):210-216

Keywords: Axial length, Facial computed tomography, Ocular volume, Volume measurements

■ Received: 2018. 6. 7.

■ Revised: 2018. 8. 27.

■ Accepted: 2019. 2. 20.

■ Address reprint requests to **Jae-Ho Shin, MD, PhD**

Department of Ophthalmology, Kyung Hee University Hospital
at Gangdong, #892 Dongnam-ro, Gangdong-gu, Seoul 05278,
Korea

Tel: 82-2-440-7760, Fax: 82-2-440-7756

E-mail: ploadsky@naver.com

* This research was supported by the National Research
Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science,
ICT & Future Planning (2017R1C1B1006736).

* Conflicts of Interest: The authors have no conflicts to disclose.

안구는 시각을 느끼게 해주는 감각기관이다. 안구는 외
상, 종양, 선천성 녹내장, 망막모세포종 등의 안과적 질환에
의해 그 크기와 용적이 변하는 것으로 알려져 있으며 안구
모양 및 크기에 따라 굴절 오차가 발생하는 것이 밝혀진 바
있다.^{1,2} 공막돌출술과 같은 수술로 인해 안구의 크기와 용
적이 변한다는 보고와 유리체강 내 주사술 후 유리체강의
부피증가로 인한 안압상승이 보고된 바 있다.³⁻⁷ 2010년
Kim et al,⁸ 2013년 Ha et al⁹은 실리콘기를 제거술 후 일시

적인 저안압의 위험인자로 긴 안축장을 보고하였으며 일시적인 저안압과 안구용적이 관련이 있음을 제시하였다. 또한 안구내용물 제거술 후 안구내 삽입물을 삽입하는 경우 원래의 안구용적보다 큰 삽입물을 사용하면 추후 삽입물의 탈출이나 노출과 같은 문제가 발생할 수 있다.¹⁰ 따라서 안과적 질환이나 굴절오차의 평가, 수술 후 안압 변동의 예측, 수술 전 정확한 삽입물의 선택 등을 위해 안구의 용적을 정확하게 측정하기 위한 여러 연구가 진행되어 왔다. 안구를 적출하여 용적을 측정하는 중량법, 안축장을 통해 구형으로 가정된 안구의 대략적인 용적을 구하는 방법 등이 제시된 바 있으며, 최근 얼굴 전산화단층촬영 영상 및 자기공명영상을 이용한 안구용적의 측정이 보고된 바 있다.¹¹⁻¹³ 하지만 이러한 방법들은 안구를 구형으로 가정하여 용적을 계산하거나, 안구용적측정을 위해 관찰자가 수동으로 경계를 그려야 하는 수작업이 많아 오차 발생 가능성을 피하기

어려운 단점이 있다. 이에 따라 본 연구는 이전 연구¹⁴에서 보다 손쉽게 단면적이 측정 가능한 MATLAB (MATLAB r2009a, MathWorks, Inc., Natick, MA, USA)을 기반으로 한 반자동화 측정프로그램을 이용하여 저자들이 고안한 알고리즘을 통해 정상 성인의 얼굴 전산화단층촬영 사진으로부터 안구용적을 측정 및 계산하고, 이를 안축장과 비교 분석하였다.

대상과 방법

2016년 1월부터 12월까지 강동경희대병원 안과에 내원하여 백내장수술을 받았던 환자 중 얼굴 전산화단층촬영을 시행했던 환자들 중 성인환자 20명(남성 10명, 여성 10명), 40안을 대상으로 하였다. 전산화단층촬영 전에 안구용적에 영향을 줄 수 있는 외상 및 안구종양의 병력이 있거나 안구

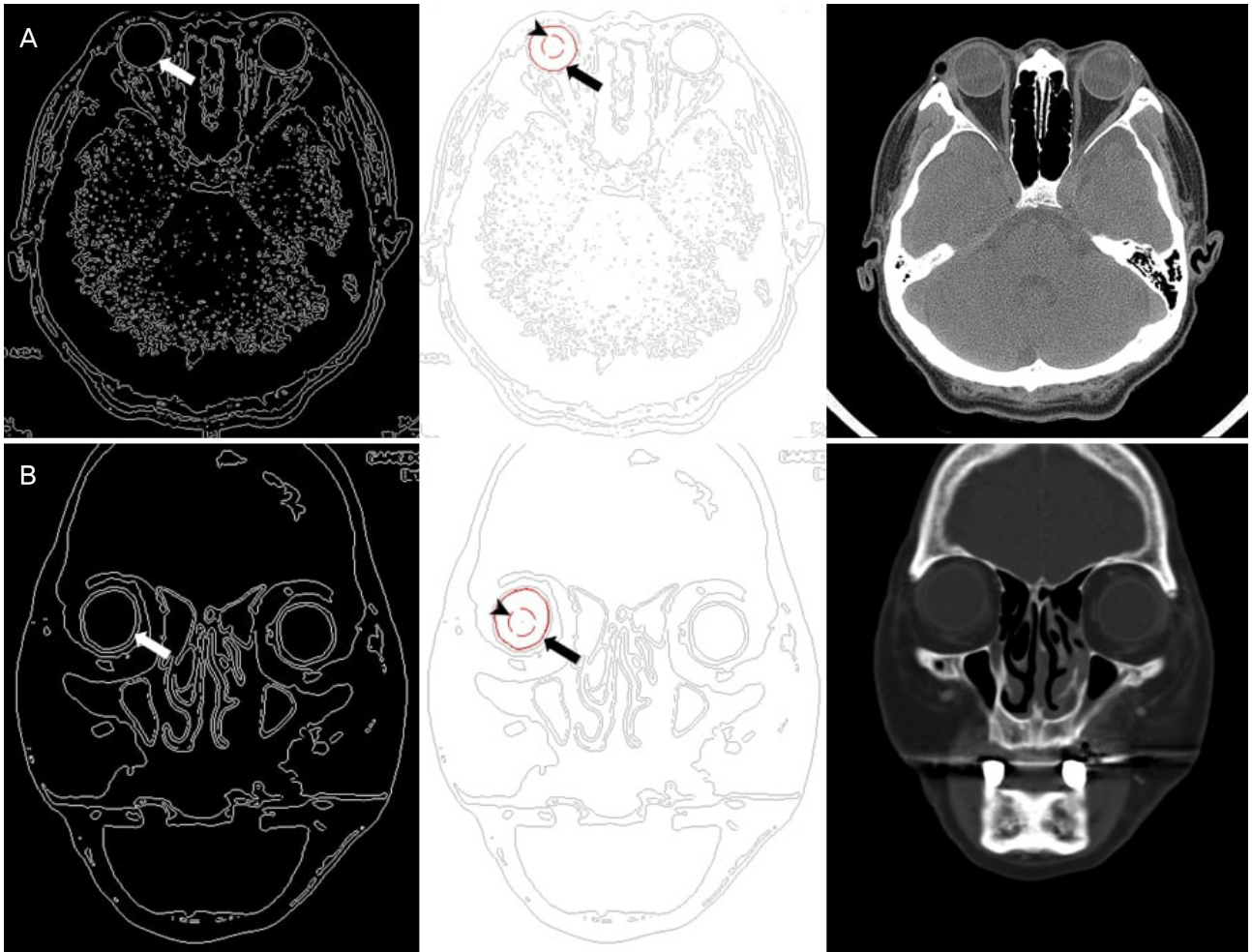


Figure 1. The process of measurement of cross-sectional areas from axial scans (A) and from coronal scans (B). The white arrows are ocular contours which were automatically displayed by the program. The seed points are marked with arrowheads and the results of automated measurement are marked with black arrows. This process was repeated in all scan sections that show an ocular contours. Each measured cross-sectional area was calculated as a volume through a conversion formula.

내 수술 과거력이 있는 환자는 대상에서 제외하였다.

얼굴 전산화단층촬영은 3 mm 간격의 단면 두께로 시행하였고, 촬영 사진들 중 축영상(axial scan), 관상영상(coronal scan)을 대상으로 저자들의 이전 연구에서 소개하였던 경희대학교 의과대학 의공학교실에서 MATLAB을 기반으로 고안한 컴퓨터 프로그램의 알고리즘을 통해 숙련된 3명의 안과 의사가 안구용적을 반자동으로 측정하여 평균치를 사

용하였다. 컴퓨터 프로그램에 단층촬영 영상을 입력하면 Otsu 알고리즘에 의해 안구 및 안와구조가 단순화되어 출력된다. 단순화되어 출력된 영상의 안구 내부 중 아무 곳이나 관찰자가 클릭하면 Snake 알고리즘을 통해 자동적으로 안구의 단면적을 측정하고 이는 화소(pixel)값으로 나타난다. 이를 통해 구한 각 영상의 단면적을 통해 부피(voxel)를 계산하여 안구의 용적(cm^3)을 도출하였다(Fig. 1, 2). 안축장과 전방깊이는 A-scan 초음파(Aviso®, Quantel Medical, Cournon-d'Auvergne, France)를 이용해 숙련된 1명의 안과 의사가 1인당 평균 30회 연속 측정하여 평균치를 사용하였다.

결 과

얼굴 전산화단층촬영을 시행한 20명 중 제외 기준에 해당하는 2명을 제외한 18명, 36안(남자 20안, 여자 16안)을 대상으로 하였고, 이들의 평균 연령은 68.5 ± 10.4 세(range: 47-84)였다. 안구용적의 측정 결과 남성은 축영상(axial scan)에서 우측 $6.97 \pm 1.67 \text{ cm}^3$, 좌측 $7.02 \pm 1.81 \text{ cm}^3$, 관상영상(coronal scan)에서 우측 $7.58 \pm 2.09 \text{ cm}^3$, 좌측 $7.05 \pm 1.81 \text{ cm}^3$ 로 측정되었다. 여성은 축영상(axial scan)에서 우측 $7.43 \pm 3.86 \text{ cm}^3$, 좌측 $6.86 \pm 3.80 \text{ cm}^3$, 관상영상(coronal scan)에서 우측 $7.46 \pm 3.30 \text{ cm}^3$, 좌측 $7.22 \pm 3.21 \text{ cm}^3$ 로 측정되었다(Table 1).

Paired *t*-test에서 남녀 각각 축영상과 관상영상을 통해 측정된 안구용적측정값은 서로 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.128$, $p=0.610$). Mann-Whitney test에서 남녀의 안구용적측정값은 서로 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.272$).

A-scan 초음파를 이용해 안축장과 전방깊이를 측정하였다. 안축장은 남성은 $23.47 \pm 0.69 \text{ mm}$ (range: 22.43-24.57), 여성은 $23.23 \pm 1.64 \text{ mm}$ (range: 21.24-27.72)였으며 *t*-test에서 남성과 여성의 안축장은 서로 유의한 차이가 없었다($p=0.558$). 전방 깊이는 남성은 $3.46 \pm 0.53 \text{ mm}$ (range: 2.70-4.85), 여성은 $3.04 \pm 0.47 \text{ mm}$ (range: 2.24-3.70)였으며 *t*-test에서 남성과 여성의 전방깊이는 서로 유의한 차이

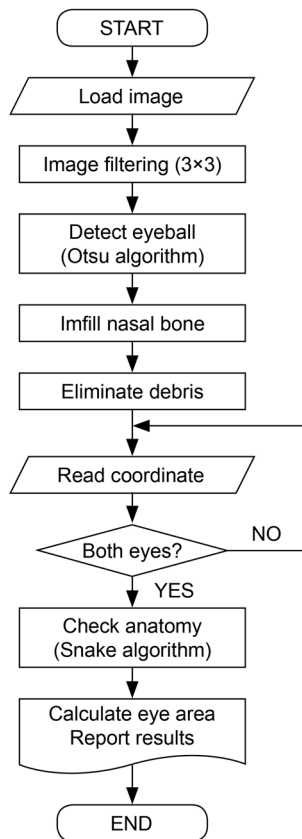


Figure 2. Flow chart of measuring ocular volume from facial computed tomography using MATLAB (MATLAB r2009a, MathWorks, Inc., Natick, MA, USA) based semi-automatic program. Otsu's algorithm and snake algorithm were used to detect eyeball and to check eyeball anatomy.

Table 1. The average data of the ocular volume (cm^3)

	Male		Female	
	Axial scan	Coronal scan	Axial scan	Coronal scan
Right eye	6.97 ± 1.67 (4.40-9.78)*	7.58 ± 2.09 (5.05-11.08)*	7.43 ± 3.86 (4.43-15.18)*	7.46 ± 3.30 (4.33-14.57)*
Left eye	7.02 ± 1.81 (4.52-9.77)*	7.05 ± 1.81 (4.57-9.84)*	6.86 ± 3.80 (3.84-15.30)*	7.22 ± 3.21 (3.46-14.00)*
Mean	7.16 ± 1.80		7.24 ± 3.38	

Values are presented as mean \pm standard deviation (range).

*Range of measured value.

를 보였다($p=0.02$). 촬영상과 관상영상을 통해 측정한 안구용적과 안축장과의 Pearson 상관계수는 0.570 ($p<0.01$)이며 전방깊이를 고려한 안구용적과 안축장의 편상관계수 또한 0.576 ($p<0.01$)으로 서로 유의한 양의 상관관계를 보이는 것으로 측정되었다(Fig. 3). 안구용적과 안축장 간의 회귀분석을 통해 도출된 3차모형 통계식은 다음과 같으며 통계적으로 유의한 선형모형 및 2차모형 또한 도출되었다(Table 2).

$$\text{안구용적}(\text{cm}^3) = 0.0056558 \times \text{안축장}^3 (\text{mm}^3) - 0.1798106 \times \text{안축장}^2 (\text{mm}^2) + 32.9008570 \quad (p<0.001, R^2=0.384, \text{관측})$$

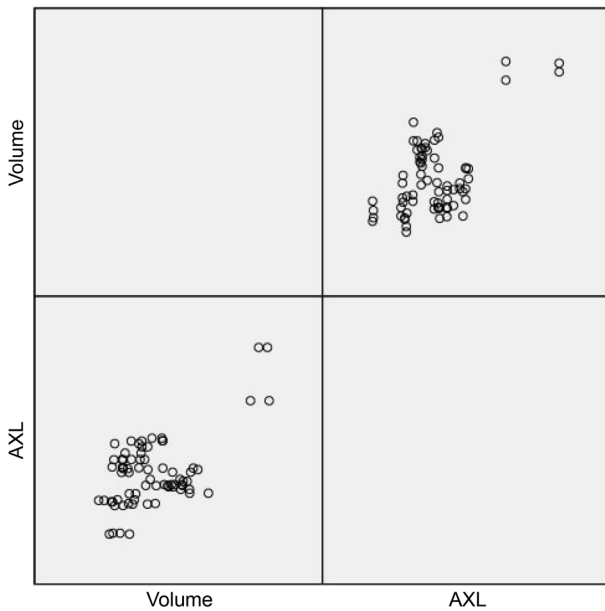


Figure 3. Scatter plot of ocular volume (volume, cm^3) and AXL (mm). There were positive correlations in Pearson correlation coefficient and partial correlation coefficient adjusted by AXL. AXL = axial length.

Table 2. Regression analysis of axial length and ocular volume

Model		R^2	p-value
Linear model	$V = 1.2520353 \times \text{AXL} - 22.0600562$	0.325	<0.01
Quadratic model	$V = 0.2268795 \times \text{AXL}^2 - 9.7057653 \times \text{AXL} + 109.7953080$	0.381	<0.01
Cubic model	$V = 0.0056558 \times \text{AXL}^3 - 0.1798106 \times \text{AXL}^2 + 32.9008570$	0.384	<0.01

Range of observed axial length was from 21.24 mm to 27.72 mm.

V = ocular volume (cm^3); AXL = axial length (mm); R^2 = coefficient of determination.

Table 3. Regression analysis of the cube of axial length and ocular volume

Model		R^2	p-value
Linear model	$V = 0.735 \times \text{Cube} - 2.249$	0.349	<0.01
Quadratic model	$V = 0.059 \times \text{Cube}^2 - 1.005 \times \text{Cube} + 10.161$	0.388	<0.01
Cubic model	$V = 0.002 \times \text{Cube}^3 - 0.012 \times \text{Cube}^2 + 5.578$	0.389	<0.01

V = ocular volume (cm^3); AXL = axial length (mm); R^2 = coefficient of determination.

안축장 21.24-27.72 mm)

안구용적과 안축장의 세제곱 간의 회귀분석도 시행되었으며 통계적으로 유의한 선형, 2차, 3차모형 통계식이 도출되었다(Table 3).

고찰

1970년 Tomlinson and Phillips¹⁵의 보고에 따르면 안구의 평균적인 안축장은 근시(24.61 ± 1.00 mm), 정시(23.40 ± 1.38 mm), 원시(22.53 ± 1.02 mm)로 측정되었으며 2014년 Bekerman et al¹⁶에 따르면 정시인 성인에서 안구의 크기는 평균적으로 24.2 mm (횡축, 수평) \times 23.7 mm (시상축, 수직) \times 2.0-24.8 mm (축, 전후)로 측정되었고, 성별과 연령 간의 차이는 보이지 않았다. 근시와 원시에서는 안축장의 길이가 20 mm에서 26 mm까지 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 안와의 너비가 클수록 안구의 수평직경이 유의하게 큰 것으로 나타났다. 이번 연구를 통해 측정된 안축장의 길이 또한 성별에 따라 차이를 보이지 않았으며 남녀 각각 평균 23.47 mm, 23.23 mm로 측정되었다.

본 연구에서 측정된 전방깊이는 평균 남성 3.46 mm, 여성 3.04 mm로 남성이 유의하게 깊었다. 1995년 Kim et al¹⁷의 연구에 따르면 국내 도시에 거주하는 성인남녀의 전방깊이는 남녀 각각 2.96 mm, 2.81 mm로 남성이 유의하게 깊었으며 국외의 보고에서도 남녀 각각 3.16 mm, 3.01 mm로 남성이 유의하게 깊었다.¹⁸ 안축장을 통해 안구용적을 회귀분석한 국외의 보고에 따르면 전방깊이는 안구용적과 서로 유의성을 보이지 않았으며 본 연구에서도 전방깊이는 안구용적과 유의한 상관관계를 보이지 않았다($p=0.253$).¹³ 따라서 전방깊이는 성별 간에 유의한 차이가 있었으나, 안

축장 및 안구용적은 성별 간에 유의한 차이를 보이지 않았으므로 성별의 구분 없이 안축장을 통해 안구용적의 크기를 분석함에 있어 어려움이 없다.

안구내 종양, 선천녹내장과 같은 안과적 질환이나 근시나 원시로 인한 안구의 형태적 변화로 인해 안구의 용적이 변할 수 있다고 알려져 있다.¹² 1980년 Lee³의 연구에 따르면 공막돌출술과 같은 안구의 수술이 안구용적에 변화를 일으킬 수 있으며, 2008년 Park and Choi⁴에 의해 유리체강내 트리암시놀론 주사술 직후 평균 안압은 45.8 mmHg까지 유의하게 증가하는 것이 보고되었고 그 원인으로 유리체용적의 증가가 지목되었다. 일정한 안구용적에 대해 유리체용적이 증가함에 따라 안압의 상승이 발생하는 것으로 유추할 수 있다. 유리체강 내 배바시주막, 라니비주막 주사술 후 발생하는 안압 변동에 대해서도 국외에서 많은 보고가 이루어졌으며 주사 이후 안축장과 안압상승 간에 관계를 제시하였다.⁵⁻⁷ 또한 동물실험연구에서는 0.015 mL의 인산완충 식염수 돼지안구 내 주사가 14.9 mmHg의 안압상승을 일으키는 것으로 나타났다.¹⁹ 이와 같이 적은 유리체용적의 변화로도 큰 안압 변동을 일으킬 수 있다.

2010년 Kim et al.⁸ 2013년 Ha et al.⁹은 실리콘기름 제거술 이후 일시적인 저안압의 위험요소로 긴 안축장을 제시하였다. Ha et al.⁹은 전방수의 생성이 안축장과 관계없이 일정하다고 가정한다면 안축장이 길수록 안구용적이 크기 때문에 저안압에 취약하다고 하였다. 실리콘기름을 제거한 후 Balanced salt solution (BSS) 등 다른 충전물로 채우게 되는 경우 본 연구의 알고리즘을 통해 정확한 안구용적 측정하여 주입할 용량을 선택해 일시적 저안압을 예방할 수 있을 것으로 기대된다.

실리콘기름의 단점을 보완한 안구내 실리콘삽입물 (intraocular silicone implant)이 안구내 충전물로서 동물대상 연구가 보고되었다.²⁰ 삽입물은 구형의 풍선 모양 주머니에 실리콘이 담겨있는 형태로 향후 이와 같은 삽입물이 인간 대상으로 적용될 때 본 연구를 통해 도출한 통계식을 이용하여 안축장에 따라 개인별로 더 적합한 부피를 가진 맞춤형 삽입물 제작도 가능할 것으로 생각된다.

주입할 실리콘기름이나 삽입물 혹은 BSS의 부피를 결정함에 있어 안구용적보다는 유리체강의 용적을 측정하는 것이 더 적합하겠으나 앞선 고찰에서 살펴본 대로 전방깊이는 안구용적과 유의한 관계가 없으므로 안축장의 증가에 따른 안구용적의 증가는 주로 유리체강의 증가에 기인하는 것으로 유추할 수 있다. 따라서 본 연구를 통해 구한 안구용적에서 평균적인 전방 부피와 수정체 부피를 빼는 것만으로도 유리체용적을 구하는 데 어려움이 없을 것이다.

안구내용물제거술을 시행받은 뒤 안구내 삽입물을 삽입

할 때 정확한 기존 안구의 용적에 맞지 않는 경우 삽입물이 노출되는 합병증이 발생할 수 있다.¹⁰ 안구내용물제거술을 받은 환자들은 안와의 해부학적 구조 및 안구내 종양 유무를 확인하기 위해 사전에 전산화단층촬영을 하는 경우가 많기 때문에 본 연구의 알고리즘을 이용한다면 보다 정확한 안구용적을 측정할 수 있어 정확한 안구내 삽입술의 부피를 결정할 수 있다.

안구용적측정 방법은 과거부터 다양한 방법이 제시되었는데, 중량법을 이용한 안구용적측정은 안구를 제거해야 하므로 임상적으로 적용하기 어렵다.¹¹ 광학 생체인식 장비가 개발됨에 따라 안축장을 비교적 정확하게 측정할 수 있게 되었고, 이를 이용해 안구를 구형으로 가정하여 대략적인 안구용적을 예측할 수 있었으나 실제 안구의 모양을 반영하지 못하며 장비가 구비되어야 하는 단점이 있었다. 얼굴 전산화단층촬영을 이용한 안구용적의 측정이 아프리카 나이지리아 환자를 대상으로 2013년 Igbiniedion and Ogbeide¹²에 의해 시도된 바 있고 측정된 안구용적은 평균 5.28 cm³였다. 이 연구는 영상을 통해 얻은 안축장 및 안구너비 평균값을 통해 안구를 구로 가정하여 용적을 측정하여 계산하였다는 한계가 있었다. 광학 생체인식장비를 통해 얻은 안축장과 자기공명영상을 통해 얻은 안구용적 간 회귀분석을 시도한 연구가 2014년 Nagra et al.¹³에 의해 있었고 측정된 안구용적은 평균 8.17 cm³였다. 한국인 성인남녀 36안을 조사한 본 연구에서는 남성의 안구용적의 평균은 7.16 ± 1.80 cm³, 여성의 안구용적의 평균은 7.24 ± 3.38 cm³로 측정되어 앞선 연구들과 차이를 보였다. 측정된 안구용적은 A-scan 초음파를 이용해 측정된 안축장과 유의한 상관관계가 있었고 안축장과 안구용적 간의 유의한 회귀분석 통계식을 도출할 수 있었다.

안축장과 안구용적 간의 회귀분석에서 통계식은 3차모형이 선형모형과 2차모형보다 적합한 것으로 나타났으며 안축장의 세제곱과 안구용적 간의 모형에서도 3차모형이 선형과 2차모형보다 설명력이 뛰어난 것으로 나타났다. 안구가 완벽한 구형이라면 안구용적은 안축장의 세제곱에 선형으로 비례하게 되므로 안축장의 세제곱과 안구용적 간의 회귀분석에서 선형모형이 가장 적합해야 하며 2차항이나 3차항이 포함된 통계식은 선형모형보다 설명력이 부족해야 한다. 하지만 본 연구에서 안축장의 세제곱과 안구용적 간에 3차모형이 가장 설명력이 뛰어났으며 이는 안구의 부피를 계산할 때 안구를 단순히 구형으로 가정하여 계산하는 것은 한계가 있음을 시사한다.

본 연구에서는 기존의 Igbiniedion and Ogbeide¹²의 연구와 달리 안구의 모양을 구로 가정하지 않았으며 얼굴 전산화단층촬영을 통해 얻은 영상을 반자동 프로그램을 이용하

여 안구의 용적을 측정하였기 때문에 관찰자의 수작업으로 인한 오차를 줄일 수 있었다. 이번 연구는 한국인을 대상으로 하였으며 저자들의 문헌 고찰에 따르면 동아시아 인종을 대상으로 영상검사를 통해 안구용적을 측정하고 안축장과의 회귀분석을 시행한 첫 번째 연구이다. 동아시아 인종은 비교적 안축장이 길고 근시가 많은 것으로 알려져 있으며 고도근시에서 포도종과 같은 안구용적에 영향을 미치는 형태적 변화가 발견될 수 있다.^{21,22} 따라서 본 연구의 통계식을 이용하여 동아시아인의 안구용적을 예측하는데 유럽과 남아시아 인종을 대상으로 한 Nagra et al¹³의 기존 연구의 통계식보다 더 정확한 값을 기대할 수 있다. 또한 본 연구를 통해 더 정확한 안구용적측정이 가능하게 되었고 기체막막유착술이나 안구내 실리콘기름주입술에서 안압상승을 막을 수 있는 정확한 가스나 실리콘기름의 용량에 대한 연구나 안구적출이나 안구내용제거술 이후 삽입할 삽입물의 정확한 부피결정에 대한 연구 등이 후행될 것으로 기대된다.

이번 연구의 제한점은 소규모 연구이며 성인 정상인만 대상으로 하였다는 점이다. 또한 본 연구에서 도출된 통계식은 유의하나 설명력(R^2)이 0.384로 낮은 것으로 나타났으며 본 연구의 관측 범위인 21.24 mm에서 27.72 mm를 벗어나는 안축장에 대해서는 적용의 한계가 있다. 추후 나이와 병력이 다양한 환자들을 대상으로 한 추가 연구뿐 아니라 더 좁은 간격의 얼굴 전산화단층촬영을 이용하여 오차를 최소화하고 더 다양한 안축장을 가진 환자를 대상으로 안구용적에 영향을 미치는 다른 변수를 함께 회귀분석을 하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) Lim LS, Chong GH, Tan PT, et al. Distribution and determinants of eye size and shape in newborn children: a magnetic resonance imaging analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54:4791-7.
- 2) Liebovitch LS. Why the eye is round. In: Fischbarg J, ed. *Advances in Organ Biology*. Elsevier, 2005; chap. 10.
- 3) Lee JH. Experimental scleral buckling reduction of ocular volume by scleral buckles. *J Korean Ophthalmol Soc* 1980;21:181-4.
- 4) Park SY, Choi KS. Intraocular pressure elevation after intravitreal triamcinolone acetonide of different volumes: comparing 0.1 ml vs 0.05 ml. *J Korean Ophthalmol Soc* 2008;49:589-94.
- 5) Adelman RA, Zheng Q, Mayer HR. Persistent ocular hypertension following intravitreal bevacizumab and ranibizumab injections. *J Ocul Pharmacol Ther* 2010;26:105-10.
- 6) Cacciamaiani A, Oddone F, Parravano M, et al. Intravitreal injection of bevacizumab: changes in intraocular pressure related to ocular axial length. *Jpn J Ophthalmol* 2013;57:63-7.
- 7) Kotliar K, Maier M, Bauer S, et al. Effect of intravitreal injections and volume changes on intraocular pressure: clinical results and biomechanical model. *Acta Ophthalmol Scand* 2007;85:777-81.
- 8) Kim SW, Oh J, Yang KS, et al. Risk factors for the development of transient hypotony after silicone oil removal. *Retina* 2010;30:1228-36.
- 9) Ha SW, Kwon SJ, Park DH, Shin JP. Transient hypotony after silicone oil removal in rhegmatogenous retinal detachment. *J Korean Ophthalmol Soc* 2013;54:85-91.
- 10) Catalu CT, Istrate SL, Voinea LM, et al. Ocular implants-methods of ocular reconstruction following radical surgical interventions. *Rom J Ophthalmol* 2018;62:15-23.
- 11) Wales RC. Ocular measurement by simple gravimetric methods. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1977;16:580-2.
- 12) Igbiniedion BO, Ogbeide OU. Measurement of normal ocular volume by the use of computed tomography. *Niger J Clin Pract* 2013;16:315-9.
- 13) Nagra M, Gilmartin B, Logan NS. Estimation of ocular volume from axial length. *Br J Ophthalmol* 2014;98:1697-701.
- 14) Choi JH, Park IK, Choi SJ, Shin JH. Measurement of orbital volume from facial CT scans using a semi-automatic computer program. *J Korean Ophthalmol Soc* 2015;56:168-73.
- 15) Tomlinson A, Phillips CI. Applanation tension and axial length of the eyeball. *Br J Ophthalmol* 1970;54:548-53.
- 16) Bekerman I, Gottlieb P, Vaiman M. Variations in eyeball diameters of the healthy adults. *J Ophthalmol* 2014;2014:503645.
- 17) Kim NS, Choi YJ, Hong YJ. The anterior chamber depth according to age in normal urban adult. *J Korean Ophthalmol Soc* 1995;36:1193-8.
- 18) Huang Q, Huang Y, Luo Q, Fan W. Ocular biometric characteristics of cataract patients in western China. *BMC Ophthalmology* 2018;18:99.
- 19) Morris HJ, Tang J, Cruz Perez B, et al. Correlation between biomechanical responses of posterior sclera and IOP elevations during micro intraocular volume change. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54:7215-22.
- 20) Bayoudh W, Carstesen D, Walter P, Weinberger AWA. Intraocular silicone implant to treat chronic ocular hypotony: an in vivo trial. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2017;255:1947-55.
- 21) Ikuno Y. Overview of the complications of high myopia. *Retina* 2017;37:2347-51.
- 22) Wong YL, Saw SM. Epidemiology of pathologic myopia in asia and worldwide. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2016;5:394-402.

= 국문초록 =

얼굴 전산화단층촬영 사진을 이용한 안구용적측정치와 안축장과의 상관관계

목적: 얼굴 전산화단층촬영 영상과 반자동화 프로그램을 이용하여 안구용적을 측정하고 안구용적의 안축장과의 상관관계 및 안구용적을 추정하는 회귀분석을 연구하고자 하였다.

대상과 방법: 얼굴 전산화단층촬영을 시행한 20명, 40안을 대상으로 반자동화 프로그램(MATLAB r2009a, MathWorks, Inc., Natick, MA, USA)을 이용하여 얼굴 전산화단층촬영 사진의 축영상과 관상영상의 안구 단면적을 각각 측정하였고, 측정 단면적을 누적하여 안구용적을 계산하였다. 안축장은 A-scan 초음파를 이용하여 측정되었으며, 안구용적과 안축장 간 회귀분석을 포함한 통계적 분석을 시행하였다.

결과: 안구용적의 측정 결과, 남성은 평균 $7.16 \pm 1.80 \text{ cm}^3$, 여성은 평균 $7.24 \pm 3.38 \text{ cm}^3$ 였다. 또한 안축장의 측정 결과 남성은 평균 $23.47 \pm 0.69 \text{ mm}$, 여성은 평균 $23.23 \pm 1.64 \text{ mm}$ 로 측정되었으며 안구용적과 안축장은 남녀 간 유의한 차이가 없었다. 안구용적과 안축장은 Pearson 상관계수와 전방깊이를 고려한 편상관계수에서 모두 유의한 양의 상관관계를 보였으며 단순회귀분석을 통해 유의한 통계식이 도출되었다(안구용적[cm^3] = $0.0056558 \times \text{안축장}^3 [\text{mm}^3] - 0.1798106 \times \text{안축장}^2 [\text{mm}^2] + 32.9008570$ [$p < 0.001$, $R^2 = 0.384$]).

결론: 본 연구의 안구용적측정법은 비침습적인 얼굴 전산화단층촬영을 이용한 것으로 특별한 장치 없이 안구용적을 측정하는데 매우 유용한 도구이다. 본 연구의 안축장과의 통계식을 통해 안구용적의 추정 또한 정확하게 할 수 있을 것으로 기대되며 이들을 통해 여러 안질환 및 수술 전후 안구용적에 대한 추가 연구에 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다.

〈대한안과학회지 2019;60(3):210-216〉

정준규 / Junkyu Chung

경희대학교 의학전문대학원
강동경희대학교병원 안과학교실
Department of Ophthalmology,
Kyung Hee University Hospital at Gangdong,
Kyung Hee University School of Medicine

