

얼굴 전산화 단층촬영 사진을 이용한 안와 용적의 측정

Measurement of Orbital Volume from Facial CT Scans Using a Semi-Automatic Computer Program

최정환¹ · 박인기² · 최삼진³ · 신재호¹

Jeong Han Choi, MD¹, In Ki Park, MD, PhD², Sam Jin Choi, PhD³, Jae Ho Shin, MD, PhD¹

경희대학교 의과대학 강동경희대학교병원 안과학교실¹, 경희대학교 의과대학 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 orbital volume from facial CT scans using a semi-automatic computer program.

Methods: Axial and coronal slices of 35 facial CT scans were used to measure the orbital volume. The cross-sectional area was determined from each slice using a semi-automated computer program (MATLAB 2009a). Next, the orbital volume was calculated from serial reconstruction of the cross-sections.

Results: The measured value in males was $26.34 \pm 3.09 \text{ cm}^3$ in the right orbit and $26.30 \pm 3.21 \text{ cm}^3$ in the left orbit from axial scans, and $26.58 \pm 2.76 \text{ cm}^3$ in the right orbit and $26.59 \pm 2.75 \text{ cm}^3$ in the left orbit from coronal scans. In females, the values were $23.84 \pm 2.29 \text{ cm}^3$ in the right orbit and $23.89 \pm 2.33 \text{ cm}^3$ in the left orbit from axial scans, and $24.06 \pm 2.90 \text{ cm}^3$ in the right orbit and $24.10 \pm 2.82 \text{ cm}^3$ in the left orbit from coronal scans. There was high positive correlation ($r = +0.832$, $p = 0.0001$) in measured orbital volume between axial and coronal scans.

Conclusions: The orbital volume measurement from facial CT scans using a semi-automatic computer program is very useful. This method should prove useful in further studies examining the correlation of orbital volume variation in many ophthalmologic disorders.

J Korean Ophthalmol Soc 2015;56(2):168-173

Key Words: Facial CT, Orbital volume, Volume measurement

■ Received: 2014. 10. 17. ■ Revised: 2014. 11. 22.

■ Accepted: 2015. 1. 27.

■ Address reprint requests to **Jae Ho Shin, MD, PhD**
Department of Ophthalmology, Kyung Hee University Hospital
at Gangdong, #892 Dongnam-ro, Gangdong-gu, Seoul 134-727,
Korea
Tel: 82-2-440-7760, Fax: 82-2-440-7756
E-mail: pblogsky@naver.com

* This study was presented as a narration at the 112th Annual Meeting of the Korean Ophthalmological Society 2014.

* This study was supported by Health Care Research and Development Project from Ministry of Health and Welfare (HI14C2241).

안와(orbit)는 사변형의 피라미드 형태 공간으로, 위쪽으로 이마뼈(frontal bone)와 나비뼈 작은 날개(lesser wing of sphenoid bone), 코쪽으로 벌집뼈(ethmoid bone), 눈물뼈(lacrimal bone), 윗턱뼈(maxillary bone)와 나비뼈 몸통(body of sphenoid bone), 아래쪽에는 윗턱뼈(maxillary bone), 광대뼈(zygomatic bone)와 입천장뼈(palatine bone), 가쪽으로 광대뼈(zygomatic bone)와 나비뼈 큰 날개(greater wing of sphenoid bone)가 경계를 이루고 있다. 안와 내부 공간은 안구, 외안근, 신경혈관 조직들, 눈물샘과 안와 지방 등이 구성하고 있다.^{1,2}

수많은 선천성, 외상성, 혈관성, 내분비적 질환들이 안와

내용물의 부피 변화 및 안와 용적에 영향을 미치고 있기 때문에 정확하게 안와 용적을 측정하기 위한 여러 연구가 진행되어 왔다. 과거 건조 두개골을 이용한 원시적인 방법에서 시작하여 전산화 단층촬영 사진으로부터 컴퓨터 소프트웨어를 이용한 측정 방법까지 안와 용적의 측정 방법에 대한 연구가 지속적으로 발전하고 있으나, 용적 측정을 위한 경계 설정에 있어서 관찰자가 수동으로 경계를 그려야 하는 등의 수작업이 많아 불편할 뿐 아니라 이에 따른 오차 발생 가능성이 높았다.³

이에 따라 본 연구에서는 보다 손쉽게 단면적이 측정 가능한 프로그램(MATLAB 2009a)을 이용하여 고안한 알고리즘을 통해 정상 성인의 얼굴 전산화 단층촬영 사진으로부터 안와 용적을 측정 및 계산하여 이를 비교, 분석해 보고자 하였다.

대상과 방법

2014년 1월부터 6월까지 강동경희대학교병원에 내원하여 얼굴 전산화 단층촬영을 시행한 환자들 중 30대 환자 49명(남성 24명, 여성 25명)을 대상으로 하였다. 과거 혹은 내원 당시 안와 용적에 영향을 일으킬 수 있는 안와 골절 및 안면부 골절 등의 외상성 질환이 있거나, 안과적 수술 과거력 또는 안와 내부 공간을 침범하는 병변이 있었던 병력이 있는 자는 대상에서 제외하였다.

얼굴 전산화 단층촬영은 3 mm 간격의 절편 두께(section thickness)로 시행하였고, 촬영 사진들 중 축영상(axial scan)

과 관상영상(coronal scan)을 대상으로 2명의 안과 의사가 안와 용적을 측정하여 평균치를 사용하였다.

이번 연구의 기초가 되었던 컴퓨터 프로그램(MATLAB 2009a)의 알고리즘은 경희대학교 의공학 교실에서 고안해 낸 알고리즘을 통해 각 영상들의 단면적을 측정하였다.

컴퓨터 프로그램에 단층촬영 영상을 입력하면 알고리즘에 의해 얼굴뼈가 단순화되어 출력된다(Fig. 1). 여기에 안와 경계의 기준점이 되는 곳을 관찰자가 지정하면 미리 입력해 둔 방식으로 자동적으로 단면적을 측정하여 결과값이 도출된다. 여기서 나온 수치는 모두 화소(pixel)값으로 표시된다. 이와 같은 방법으로 연속적인 단층촬영 사진에서 안와 단면적을 측정한 후 변환 공식을 이용하여 부피(voxel)를 계산하였다. 이 계산값을 표준적인 단위(cm^3)로 변환하여 안와의 용적을 도출하였다.

축영상 사진은 안와 공간(orbital space)이 보이는 시점부터 아래안와연(inferior orbital rim)이 보이는 시점까지의 영상을 본 연구에 사용하였고, 관상영상 사진은 아래안와연의 절반 이상이 보이는 시점부터 시신경관(optic canal)까지 측정하였다. 축영상에서 안와의 앞쪽 경계는 안쪽안와연(medial orbital rim)과 가쪽안와연(lateral orbital rim)을 관찰자가 임의로 직선으로 연결하여 측정하였고, 관상영상에서 가쪽안와연이 존재하지 않아 뼈로 경계 짓지 못한 사진도 역시 관찰자가 임의로 직선으로 연결하여 측정하였다(Fig. 2).

본 연구에서 통계 분석은 SPSS ver. 18 (SPSS Inc., Chicago, Illinois)을 사용하였으며, paired *t*-test 방법을 이용하여 측

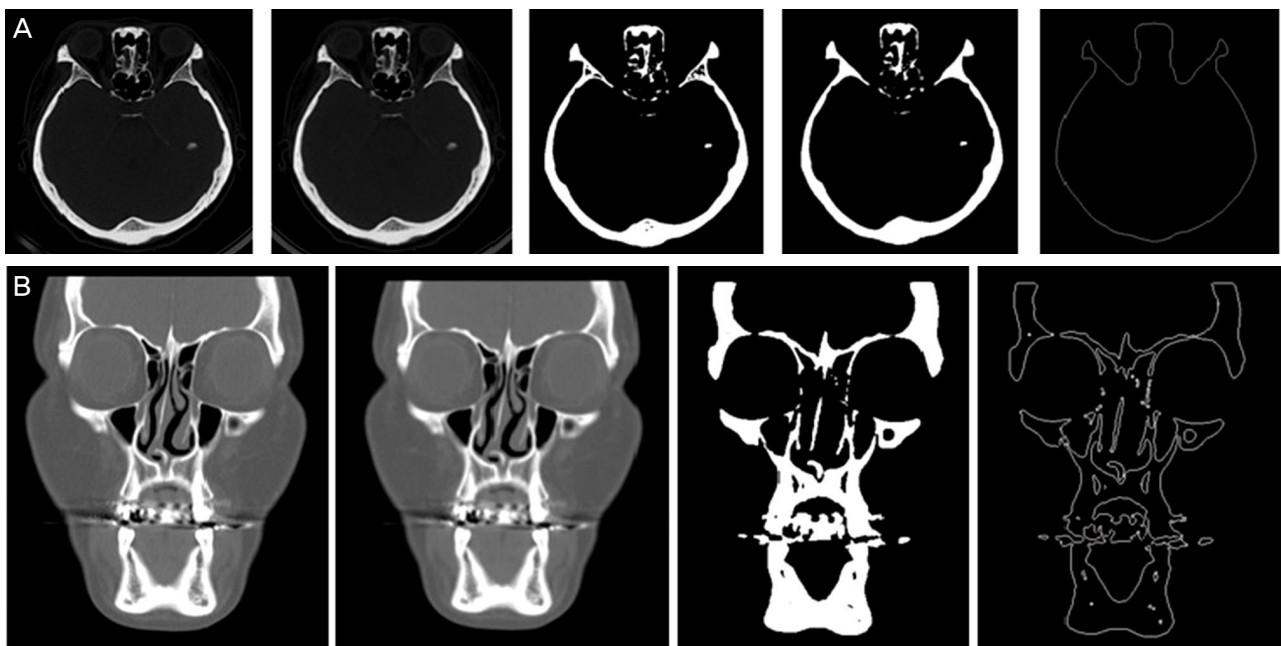


Figure 1. The simplified photographs by the algorithm of the computer program from axial scans (A) and from coronal scans (B).

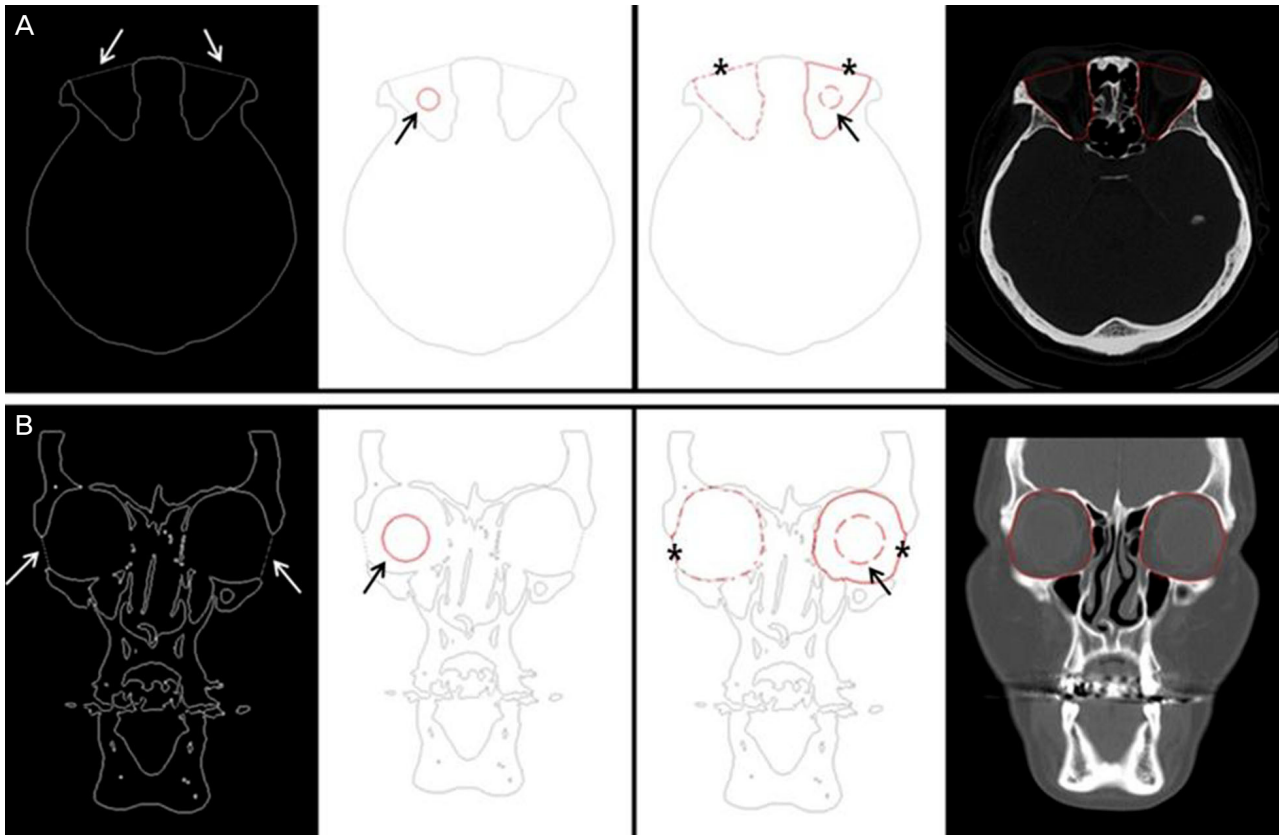


Figure 2. The process of measurement of cross-sectional areas from axial scans (A) and from coronal scans (B). The white arrows are the straight line traced by the examiner. The seed points are remarked with black arrows and the results of automated measurement are remarked with the asterisks.

Table 1. The average data of the orbital volume (cm³)

	Male		Female	
	Axial scan	Coronal scan	Axial scan	Coronal scan
Right orbit	26.34 ± 3.09 (21.86-33.28)*	26.58 ± 2.76 (22.65-33.40)*	23.84 ± 2.29 (18.04-27.94)*	23.89 ± 2.33 (18.30-27.08)*
Left orbit	26.30 ± 3.21 (21.28-33.24)*	26.59 ± 2.75 (22.18-33.54)*	24.06 ± 2.90 (18.39-27.98)*	24.10 ± 2.82 (18.60-27.55)*
Mean	26.48 ± 2.91		23.97 ± 2.55	

Values are presented as mean ± SD.

*Range of measured value.

영상과 관상영상 사진에서 측정한 안와 용적의 상관성에 대한 비교, 분석하였다.

결 과

얼굴 전산화 단층촬영을 시행한 30대 환자 49명 중 제외 기준에 해당하는 14명을 제외한 35명(남성 17명, 여성 18명)을 대상으로 하였고, 이들의 평균 연령은 34.54 ± 3.09세 (range: 30-39)이었다.

안와 용적의 측정 결과, 남성은 축영상(axial scan)에서 우측 26.34 ± 3.09 cm³, 좌측 26.30 ± 3.21 cm³, 관상영상

(coronal scan)에서 우측 26.58 ± 2.76 cm³, 좌측 26.59 ± 2.75 cm³로 측정되었다. 반면에, 여성은 축영상에서 우측 23.84 ± 2.29 cm³, 좌측 23.89 ± 2.33 cm³, 관상영상에서 우측 24.06 ± 2.90 cm³, 좌측 24.10 ± 2.82 cm³로 측정되었다 (Table 1). 같은 연령대의 남성과 여성을 비교하였을 때 남성의 안와 용적이 약 2.5 cm³ 큰 것으로 측정되었다. 전체 대상자에 대해 축영상과 관상영상의 측정값은 높은 양의 상관관계($r=+0.832$, $p=0.0001$)를 보였고(Fig. 3), 축영상과 관상영상 사진으로부터 각각 측정한 안와 용적 간에는 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.006$). 그러나 축영상과 관상영상 사진에 측정한 안와 용적의 평균값의 차이는 통계

적으로 유의한 수준이었다($p < 0.05$).

고찰

안와 용적의 측정은 과거 건조 두개골을 사용하여 아르키메데스 원리나 모래를 채워 넣는 방법을 통한 연구가 있었으나 신뢰도 높은 결과를 얻지 못하였다. 이후 전산화 단층촬영의 발전에 더불어 안와 용적의 측정에 관한 연구가 시작되었고, 안와는 그 구성물 간의 대비(contrast)가 크고 서로 겹치는 부분이 적기 때문에 새로운 연구의 좋은 대상이 되었다.³ 전산화 단층촬영에서 3차원 영상의 복원이 가능한 소프트웨어가 개발됨에 따라 이를 이용한 많은 연구가 진행되어 왔으나,^{4,6} 용적 측정을 위한 경계 설정에 있어서 수동적 작업이 많아 이에 따른 오차 발생이 많았으며, 본 연구와 같이 2차원적인 단층촬영 사진을 반자동화된 방식으로 간단하게 안와 용적을 측정하는 방법은 아직까지 소개된 적이 없었다.

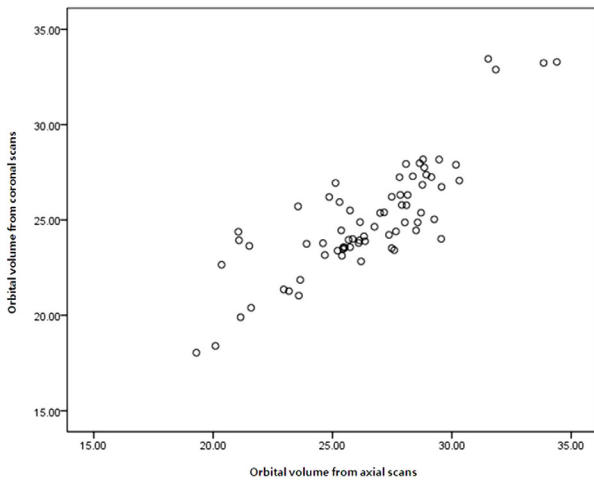


Figure 3. The correlation of measured orbital volume from axial scans with from coronal scans.

이번 연구의 기초가 되었던 컴퓨터 프로그램(MATLAB 2009a, MathWorks Co., USA)은 편한 그래픽 기능, 수치 해석 등을 통합하여 고성능의 수치 계산 및 결과의 가시화 기능을 제공하는 프로그래밍 언어이다. 전산화 단층촬영 사진을 입력하면 이 프로그램에 입력되어 있는 알고리즘을 통해 자동적으로 윤곽을 잡는 작업(automatic outlining)을 한 후 단순화된 사진을 출력하여 주었다. 이 기술은 영역 성장(region growing)이라는 방법으로, 관찰자가 기준점(seed point)을 지정하였을 때 그 지점의 밀도(density)를 기준으로 그 이웃하는 영역의 화소(pixel)의 밀도에 대하여 미리 정해진 기준에 의해 포함을 시키는 것이다(Fig. 4).⁷⁻¹⁰ 그 다음으로, 이렇게 도출해 낸 사진에서 안와에 해당하는 경계(boundary)를 설정하는 작업이 필요하였다. 이전 연구에서는 각 연구자마다 자신만의 기준으로 그 경계를 설정하여 왔다. Forbes et al³은 축영상(axial scan)의 앞쪽 경계를 앞안쪽코용기(anteromedial nasal prominence)와 앞가쪽안와벽(anterolateral orbital wall)을 잇는 경계로 설정하였고, Ramieri et al¹¹은 안와광대뼈 봉합선(orbitozygomatic suture)과 앞눈물능선골막(anterior lacrimal creast)을 기준으로 하였다. Kwon et al⁴은 관상영상(coronal scan)에서 안쪽안와연(medial orbital rim)과 가쪽안와연(lateral orbital rim)을 기준으로 측정하였다. 관상영상에서도 역시 눈물샘오목(lacrimal fossa)를 기준으로 하거나 아래안와연(inferior orbital rim)이 절반 이상 보이는 곳을 경계로 설정하는 등 특별한 기준 없이 측정되어 왔다. 또한 뒤쪽 경계 역시 연구자마다 차이가 있었으나, 대부분 안와첨(orbital apex)이나 시신경관(optic canal)을 기준으로 측정하였다.^{4,12} 이번 연구에서는 축영상의 앞쪽 경계는 안쪽안와연(medial orbital rim)과 가쪽안와연(lateral orbital rim)을 잇는 직선으로 설정하였고, 관상영상에서는 아래안와연(inferior orbital rim)이 절반 이상 보이는 곳으로 하였으며, 뒤쪽 경계의 경우 축영상에서는 진씨총건륜(annulus of Zinn)을 경계로 하였고,

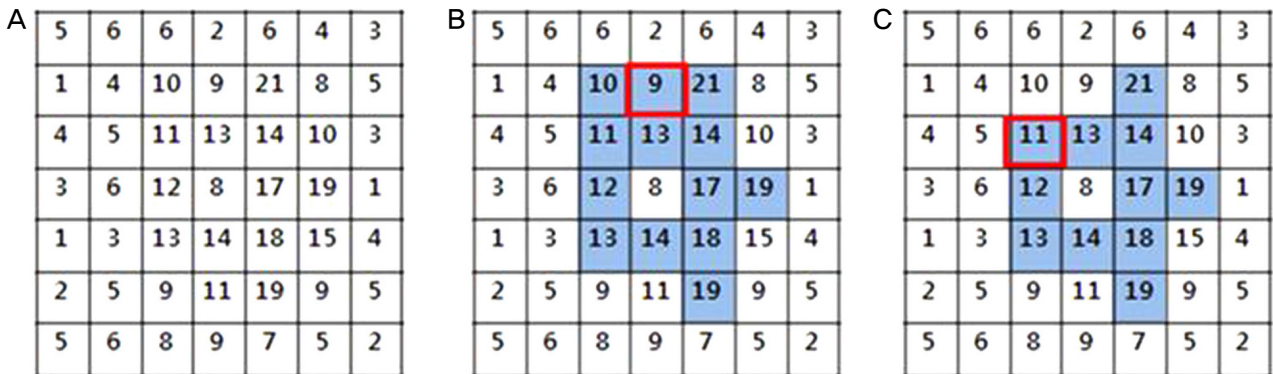


Figure 4. Automatic outlining of regions. (A) Example data, (B) setting the seed point at the checked '9', and then automatically including the higher numbers around the seed point, (C) different result of the algorithm as setting different seed point checked '11'.

관상영상에서는 시신경관(optic canal)을 기준으로 하였다.

앞에서 설명한 측정 과정에 2명의 안과의사가 참여하였다. 본 연구 시작 전, 충분한 교육 및 연습을 실시하였으며 실제 단면적 측정 결과는 약 0.4 cm^2 , 용적 측정 결과는 약 1 cm^3 의 차이를 보였다. 본 연구에서는 측정값의 평균치를 이용하여 측정 오류를 최소화하고자 하였다.

연속적으로 측정된 단면적들은 모두 용적(voxel)으로 변환하게 되는데, 여기 필요한 높이(height)는 절편 두께에 해당하는 3 mm 를 화소값으로 대입하여 용적을 계산하였다. 마지막으로 측정된 용적을 표준 단위(cm^3)로 변환하여 최종 안와 용적을 구하였다.^{5,13}

본 연구 결과, 30대 성인 남성의 안와 용적은 평균 26.45 cm^3 , 여성은 23.98 cm^3 로 측정되었다. 2001년 Kim et al⁶이 발표한 3차원 전산화 단층촬영을 이용한 한국 성인 평균 안와 용적에 대한 연구는 남성 24.5 cm^3 , 여성 23.5 cm^3 으로 발표하였다. Kim et al⁶의 연구대상 중 남성은 50대 성인까지 포함한 결과이지만, 본 연구는 평균적으로 발육 상태가 우수하다고 할 수 있는 30대 남성만을 대상으로 하였기 때문에 측정값의 차이가 비교적 크게 도출되었던 반면, Kim et al⁶의 연구대상 중 여성은 30대 이하 성인을 대상으로 연구하였기 때문에 본 연구와 결과값이 유사하게 나온 것으로 생각한다.

Duane's Ophthalmology¹⁴에서 성인 안와 용적을 30 cm^3 으로 정의하고 있으나, Forbes et al³은 건조 두개골을 이용한 연구에서 성인 남성의 안와 용적의 평균이 23.92 cm^3 (range: 21.58-29.43), 여성이 23.63 cm^3 (range: 16.18-30.11)라고 발표하였으나, Acer et al¹⁵이 건조 두개골을 이용한 연구에서는 $17.84 \pm 1.56 \text{ cm}^3$ 으로 보고하였다. 전산화 단층촬영을 이용한 연구들에서도 Kim et al⁶은 약 24 cm^3 , Kwon et al⁴은 $25.6 \pm 2.4 \text{ cm}^3$ 으로 보고하는 등 안와 용적의 기준치에 대한 더 많은 연구가 더 필요할 것으로 생각한다.

본 연구 결과에서 축영상과 관상영상으로 측정한 안와 용적은 매우 큰 양의 상관관계($r=+0.832$, $p=0.0001$)를 보였다. 그러나 축영상에서 측정된 용적보다 관상영상에서 측정된 측정값이 더 크게 측정되었고, 그 용적의 평균값은 유의한 차이를 보였다($p<0.05$). 이것은 단면적을 구하는 과정에서 발생한 것으로 생각되는데, 축영상에서 단면적을 측정할 때 반자동화 프로그램이 자동적으로 뒤쪽 경계를 진씨충진륜(annulus of Zinn)으로 인식한 반면, 관상영상에서는 시신경관(optic canal)을 일부 포함한 전산화 단층촬영 사진까지 측정하였기 때문에 관상영상으로부터 측정된 안와 용적이 더 크게 측정된 것으로 보인다. 이와 같이 축영상에서 측정된 안와 용적은 실제보다 작게, 관상영상에서 측정된 안와 용적은 실제보다 크게 측정되기 때문에, 실제

안와 용적은 두 측정치의 평균값에 가장 가까울 것으로 생각한다.

본 연구에서 사용한 안와 용적 측정 방법은 추후 안와 용적 및 안와 내용물의 부피에 영향을 주는 선천성 질환, 내분비적 질환, 안와 골절 등 여러 질환에서의 안와 용적의 정량적 평가에도 유용할 것으로 기대된다. 두개골의 조기 유합으로 안와의 공간이 정상인보다 작은 머리뼈협착증(craniosynostosis), 뇌의 발달 저하로 안와의 크기가 발달하지 않는 무뇌증(anencephaly) 등과 같은 선천성 질환이 있는 환자의 경우, 환자의 성장에 따른 연속적인 안와 용적 측정을 통해 적절한 수술적 치료 시기 및 방법을 결정하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.² 또한 심한 안구 돌출 등의 증상을 보이는 갑상선 눈병증 환자에서 안와 용적의 측정은 내과적 치료의 반응을 평가하고 치료의 방향 및 치료법을 선택하는 데 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 생각한다.^{13,14,16}

안구 함몰은 안와 골절이 있는 환자에서 발생한다. Whitehouse and Jackson¹⁷의 연구에 따르면, 2 cm^3 의 안와 부피의 증가가 있을 때 안구 함몰이 발생하는데, 안와 안쪽벽 골절에서 평균 1.3 cm^3 , 안와 바닥 골절에서 약 2.37 cm^3 의 부피 증가가 발생하며, 안와바닥 골절과 안쪽벽 골절이 동시에 발생한 경우 가장 많은 빈도로 안구 함몰이 발생한다고 한다. 안와 용적의 측정은 안와 골절로 인한 안구 함몰 환자의 2차 수술과 삽입물 크기 결정에 있어 매우 유용한 정보를 줄 수 있을 것으로 생각한다.

결론적으로, 본 연구에서 시행한 얼굴 전산화 단층촬영 사진으로부터 컴퓨터 프로그램을 이용한 안와 용적 측정은 특별한 추가 장치 없이 안와 용적을 비교적 간편하게 측정할 수 있었으며 본 연구를 통해 측정 방법의 유용성에 대해 증명할 수 있었다. 비교적 적은 대상환자에도 불구하고 추후 안와 용적에 차이를 발생시킬 수 있는 다양한 질환에서 본 측정 방법을 사용할 수 있을 것으로 기대되며 측정 방법에 대한 선행 연구로서 의미가 있을 것으로 생각한다.

REFERENCES

- 1) Phillips PH. The orbit. Ophthalmol Clin North Am 2001;14:109-27, viii.
- 2) Cooper WC. A method for volume determination of the orbit and its contents by high resolution axial tomography and quantitative digital image analysis. Trans Am Ophthalmol Soc 1985;83:546-609.
- 3) Forbes G, Gehring DG, Gorman CA, et al. Volume measurements of normal orbital structures by computed tomographic analysis. AJR Am J Roentgenol 1985;145:149-54.
- 4) Kwon J, Barrera JE, Most SP. Comparative computation of orbital volume from axial and coronal CT using three-dimensional image analysis. Ophthal Plast Reconstr Surg 2010;26:26-9.
- 5) Bite U, Jackson IT, Forbes GS, Gehring DG. Orbital volume meas-

- urements in enophthalmos using three-dimensional CT imaging. *Plast Reconstr Surg* 1985;75:502-8.
- 6) Kim TH, Jun HS, Byun YJ. The normal value of adult Korean orbital volume in three-dimensional computerized tomography. *J Korean Ophthalmol Soc* 2001;42:1011-5.
- 7) Byun YG, Kim YI. High resolution satellite image segmentation algorithm development using seed-based region growing. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 2010;28:421-30.
- 8) Hojjatoleslami SA, Kittler J. Region growing: a new approach. *IEEE Trans Image Process* 1998;7:1079-84.
- 9) Leymarie F, Levine MD. Tracking deformable objects in the plane using an active contour model. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 1993;15:617-34.
- 10) Xu C, Prince JL. Snakes, shapes, and gradient vector flow. *IEEE Trans Image Process* 1998;7:359-69.
- 11) Ramieri G, Spada MC, Bianchi SD, Berrone S. Dimensions and volumes of the orbit and orbital fat in posttraumatic enophthalmos. *Dentomaxillofac Radiol* 2000;29:302-11.
- 12) Furuta M. Measurement of orbital volume by computed tomography: especially on the growth of the orbit. *Jpn J Ophthalmol* 2001;45:600-6.
- 13) Forbes G, Gorman CA, Gehring D, Baker HL Jr. Computer analysis of orbital fat and muscle volumes in Graves ophthalmopathy. *AJNR Am J Neuroradiol* 1983;4:737-40.
- 14) Chapter 32 Embryology and Anatomy of the Orbit and Lacrimal System. In: Tasman W, Jaeger EA, eds. *Duane's Ophthalmology*. Lippincott/Williams & Wilkins, 2007.
- 15) Acer N, Sahin B, Ergür H, et al. Stereological estimation of the orbital volume: a criterion standard study. *J Craniofac Surg* 2009;20:921-5.
- 16) Trokel SL, Jakobiec FA. Correlation of CT scanning and pathologic features of ophthalmic Graves' disease. *Ophthalmology* 1981;88:553-64.
- 17) Whitehouse RW, Jackson A. Measurement of orbital volumes following trauma using low-dose computed tomography. *Eur Radiol* 1993;3:145-9.

= 국문초록 =

얼굴 전산화 단층촬영 사진을 이용한 안와 용적의 측정

목적: 얼굴 전산화 단층촬영 사진의 축영상과 관상영상을 반자동화 프로그램을 이용하여 안와 용적을 측정 및 비교하고자 하였다.
대상과 방법: 얼굴 전산화 단층촬영을 시행한 30대 정상 성인 남성 17명, 여성 18명에 대하여, 안와 용적의 측정이 가능한 반자동화 프로그램(MATLAB 2009a)을 이용하여 얼굴 전산화 단층촬영 사진의 축영상과 관상영상의 안와 단면적을 각각 측정하였고, 측정 단면적을 누적하여 안와 용적을 계산하여 이를 비교 분석하여 보았다.

결과: 안와 용적의 측정 결과, 남성은 축영상에서 우측 $26.34 \pm 3.09 \text{ cm}^3$, 좌측 $26.30 \pm 3.21 \text{ cm}^3$, 관상영상에서 우측 $26.58 \pm 2.76 \text{ cm}^3$, 좌측 $26.59 \pm 2.75 \text{ cm}^3$ 로 측정되었으며, 여성은 축영상에서 우측 $23.84 \pm 2.29 \text{ cm}^3$, 좌측 $23.89 \pm 2.33 \text{ cm}^3$, 관상영상에서 우측 $24.06 \pm 2.90 \text{ cm}^3$, 좌측 $24.10 \pm 2.82 \text{ cm}^3$ 로 측정되었다. 축영상과 관상영상을 통해 계산한 안와 용적은 유의한 양의 상관관계($r=+0.832$, $p=0.0001$)를 보였고, 안와 용적의 평균값은 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.006$).

결론: 본 연구 결과에서 얼굴 전산화 단층촬영 사진은 비침습적인 방법으로 특별한 추가 장치 없이 안와 용적을 측정하는 데에 매우 유용한 도구이며, 이 방법을 통해 여러 안질환에서 안와 용적 변화에 대한 추가 연구에 도움이 될 수 있을 것으로 생각한다.

(대한안과학회지 2015;56(2):168-173)