

3차원 전산화단층촬영 영상을 이용한 얼굴 연조직 두께 측정

*연세대학교 치과대학 구강악안면방사선과학교실, 구강과학연구소,
**연세대학교 치과대학 구강생물학교실 해부 및 발생생물학과, 구강과학연구소, BK21 의과학사업단,
***가톨릭대학교 의과대학 해부학교실, 가톨릭응용해부연구소,
****연세대학교 개인식별연구소, *****(주)맥스트론

정호걸**** . 김기덕**** . 한승호*** . 신동원* . 허경석****
이제범***** . 박혁***** . 박창서*

Measurement of facial soft tissues thickness using 3D computed tomographic images

Ho-Gul Jeong****, Kee-Deog Kim****, Seung-Ho Han***, Dong-Won Shin*,
Kyung-Seok Hu****, Jae Bum Lee****, Hyok Park****, Chang-Seo Park*

**Department of Oral & Maxillofacial Radiology, Oral Science Research Center, College of Dentistry, Yonsei University*
***Division in Anatomy & Developmental Biology, Department of Oral Biology, Oral Science Research Center, Brain Korea 21 Project for Medical Science, College of Dentistry, Yonsei University*
****Department of Anatomy and Catholic Institute for Applied Anatomy, College of Medicine, Catholic University of Korea*
*****Human Identification Research Center, Yonsei University, *****Maxtron Inc.*

ABSTRACT

Purpose : To evaluate accuracy and reliability of program to measure facial soft tissue thickness using 3D computed tomographic images by comparing with direct measurement.

Materials and Methods : One cadaver was scanned with a Helical CT with 3 mm slice thickness and 3 mm/sec table speed. The acquired data was reconstructed with 1.5 mm reconstruction interval and the images were transferred to a personal computer. The facial soft tissue thickness were measured using a program developed newly in 3D image. For direct measurement, the cadaver was cut with a bone cutter and then a ruler was placed above the cut side, The procedure was followed by taking pictures of the facial soft tissues with a high-resolution digital camera. Then the measurements were done in the photographic images and repeated for ten times. A repeated measure analysis of variance was adopted to compare and analyze the measurements resulting from the two different methods. Comparison according to the areas was analyzed by Mann-Whitney test.

Results : There were no statistically significant differences between the direct measurements and those using the 3D images ($p > 0.05$). There were statistical differences in the measurements on 17 points but all the points except 2 points showed a mean difference of 0.5 mm or less.

Conclusion : The developed software program to measure the facial soft tissue thickness using 3D images was so accurate that it allows to measure facial soft tissues thickness more easily in forensic science and anthropology. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol 2006; 36 : 49-54*)

KEY WORDS : Facial Soft Tissue Thickness; Measurement; Imaging, Three-Dimensional; Tomography, X-ray Computed

서론

*이 논문은 2004년도 연세대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 것임.
접수일 : 2005년 12월 19일; 심사일 : 2005년 12월 21일; 채택일 : 2006년 2월 2일
Correspondence to : Prof. Kee-Deog Kim
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Yonsei University, Shinchon-Dong 134, Seodaemun-Gu, Seoul 120-752, Korea
Tel) 82-2-2228-8861, Fax) 82-2-363-5232, E-mail) kdkim@yumc.yonsei.ac.kr

최근 법의학과 체질 인류학 분야에서 많은 관심을 가지고 있는 연구 중의 하나가 개인의 얼굴뼈에 피부를 덧붙여서 얼굴 원형을 복원하는 방법에 관한 연구로 이런 일련의 연구들은 개인식별을 하는데 많은 도움을 준다.¹⁻⁵ 일

굴 복원은 잔존 얼굴뼈에서 연조직을 재현하는 것이기 때문에 정확한 얼굴 복원을 위해서는 연조직 두께에 대한 정보가 필수적이다. 그러나 얼굴뼈는 다른 부위에 비해 복잡한 형태의 뼈로 구성되어 있기 때문에 다양한 해부학적인 위치에 따른 정확한 연조직 두께의 정보가 필요하다.

현재까지 사용되고 있는 얼굴 연조직 두께 측정 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 고전적인 연조직 두께 측정 방법으로 시신에서 바늘로 안면 연조직을 직접 탐침하여 측정하는 것⁶⁻⁸이고 두 번째는 간접적인 방법으로 측방두부규격방사선사진⁹⁻¹¹, 진단용 초음파^{4,12,13}, 전산화단층촬영 (Computed tomography, CT)^{1,5,14-16}, 자기공명영상 (Magnetic resonance image, MRI)¹⁷ 등의 방사선영상을 이용하여 연조직 두께를 측정하는 방법이다. 그러나 고전적인 연조직 두께 측정 방법은 사망 초기에 발생하는 연조직의 탈수현상에 따른 필연적인 오차뿐 아니라 바늘의 부적절한 위치, 연조직 하방의 뼈에 대한 수직 정도, 탐침시 야기되는 압박으로 인한 오차 등으로 측정방법의 정확성에 많은 의구심이 제기되어 왔다.⁵ 또한 이런 측정방법은 연구 성격상 큰 표본을 확보할 수 없기 때문에 특정 인구집단에 따른 특징이나 연령에 따른 변화 및 성별, 체형에 따른 차이에 대한 연구가 사실상 불가능하며 충분한 표본을 확보할 수 없다 하더라도 직접 측정한 많은 시간과 인력이 요구되는 단점이 있다. 방사선영상을 이용하여 얼굴 연조직 두께를 측정하는 방법은 충분한 생체표본을 연구대상으로 할 수 있다는 장점이 있으나 측정값에 대한 정확성을 입증할 수 있는 근거가 미미한 상태이다. 영상을 이용한 연조직 두께 측정에 대한 연구들^{1,9,12,13,17}이 보고되었으나 이 연구들은 단지 연조직 측정방법과 측정값을 제시하는 수준에 그쳤으며 측정값이 얼마나 정확한지 또한 신뢰성이 있는지를 검증하지는 못했다. 또한 현재 널리 이용되고 있는 영상들은 대부분 2차원 영상으로 3차원적인 연조직 두께를 2차원적으로 측정하는 것 자체가 오차의 원인이 될 수 있다.

그러나 최근에는 고대조도의 해상도를 가지는 CT나 MRI와 같은 영상이 널리 보급되면서 얼굴뼈의 복잡한 해부학적 구조물을 정확하고 자세히 볼 수 있는 단면영상을 얻을 수 있게 되었다. 또한 이 영상들은 디지털 영상이기 때문에 상의 조작이 가능하며 단면영상 데이터를 활용하여 3차원 영상으로 재구성할 수 있게 되면서 연조직의 3차원적인 측정이 가능하게 되었다.

최근에 전산화단층촬영의 다면상을 이용하여 얼굴 연조직 두께를 측정하여 실제 측정값과 비교한 연구에서는 전산화단층촬영이 매우 정확하고 신뢰성이 높다고 보고하였다.⁵ 그러나 이 연구에서는 다면상에서 두 점을 정하면 두 점 사이의 거리를 구해 얼굴 연조직 두께를 측정하였기 때문에 시간이 비교적 많이 걸리고 2차원 단면영상에서 측정하게 됨으로써 실제 얼굴 복원에 필요한 3차원적인

연조직 두께 측정에 적용하기에는 문제가 있었다.

이에 본 연구에서는 3차원 전산화단층영상에서 연조직 두께를 측정하기 위해 개발한 소프트웨어 프로그램을 이용하여 얼굴 연조직 두께를 측정하고 이를 실제 연조직 두께 측정값과 비교함으로써 새로 개발한 연조직 두께 측정 프로그램의 정확성과 신뢰성을 평가하고 실제 임상 적용의 유용성을 평가해 보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료

가톨릭대학교 의과대학에 기증된 시신 중에서 정상적인 얼굴형태를 유지하고 있으며 얼굴부위 연조직에 특이할만한 결손이 없는 1구를 연구대상으로 하였다.

2. 방법

1) 전산화단층촬영 준비

(1) 시신 고정

시신 머리를 미리 제작한 상자 안에 위치시킨 후 전산화단층촬영시 움직이지 않도록 석고로 고정시켰다.

(2) 측정점 표시

상자를 전산화단층촬영기의 테이블에 위치시킨 후 판구에서 나오는 위치 확인 레이저 선(guiding line)을 이용하여 이마에서 턱 끝 사이에 연조직 두께를 측정할 부위로 일곱 개의 횡단면을 선정하였고 전산화단층촬영 후 그 단면을 절단할 수 있도록 위치 확인 레이저 선이 지나가는 상자의 양쪽 끝부위에 유성펜을 이용하여 표시하였다. 측정점은 일곱 개의 각각의 단면에서 연조직 하방에 뼈가 있을 것으로 추정되는 부위 3~5개를 해부학 전문의와 상의하여 선정해 위치 확인 레이저 선이 지나가는 총 30개의 측정점을 결정하고 측정점을 유성펜으로 시신의 피부에 표시하였다. 표시한 점에 내부가 비어있는 직경 0.6cm의 원통형 플라스틱을 왁스로 고정하여 위치시키고 이 원통형 플라스틱의 중심을 3차원 전산화단층촬영 영상과 실제 단면에서 연조직 두께 측정점으로 설정하였다(Table 1).

2) 전산화단층촬영

1구의 시신을 두정부 아래에서 아래턱뼈 아래모서리까지 측정점이 모두 포함되도록 Pronto[®] 전산화단층촬영장치(Hitachi Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 나선형 전산화단층촬영을 시행하였다. 상층 두께는 3 mm, table speed는 3 mm/sec, field of view 25 cm, 125 mA, 120 kV의 조건으로 촬영을 시행하였으며 이렇게 촬영한 나선형 전산화단층촬영 영상정보는 영상두께 3 mm, 영상재구성 간격을 1.5 mm로 영상을 재구성하였다.

3) 실제 절단면 제작

전산화단층촬영 시행 후 시신의 실제 절단면을 얻기 위해서 시신의 얼굴부위가 완전히 잠기도록 경석고를 상자에 부은 다음 석고가 경화된 후 전산화단층촬영전에 상자에 표시한 양쪽 선을 연결하여 절단할 부위를 선으로 표시하였다. 경화된 상자는 실제로 절단할 때 발생하는 열과 압력으로 인해 연조직이 손상되지 않도록 약 영하 80°C의 냉동고에 48시간 이상 보관하였다. 골절기를 이용하여 석고에 표시된 절단선을 따라 시신 머리를 절단하여 실제 절단면을 얻었고 절단면에 원통형 플라스틱이 존재하는지 확인하였다. 실제 절단면은 확대율 보정을 위해서 측정자를 함께 놓고 고해상도 디지털카메라 (해상도 3,072 × 2,048 pixel)를 이용하여 영상을 획득, 저장하였다.

4) 3차원 영상 재구성 및 얼굴 연조직 두께 계측

나선형 전산화단층촬영으로 얻은 재구성 영상을 개인용

컴퓨터로 전송한 다음 3차원 영상 소프트웨어인 V-works™ 4.0 (CyberMed Inc., Seoul, Korea)에서 연조직 3차원 영상과 뼈 3차원 영상을 각각 재구성하였다. 재구성한 3차원 영상에서 3차원 연조직 두께 계측 프로그램을 이용하여 얼굴 연조직 두께를 계측하였다. 3차원 영상에서 실제 절단면과 동일한 부위를 계측하기 위해서 다면 영상 재구성 화면의 횡단면 영상 중에서 원통형 플라스틱이 가장 잘 보이는 단면들을 선택하여 계측할 부위를 확인하고 위치의 정확성을 3차원 영상에서 검증하였다. 3차원 영상에서 계측할 위치를 결정하게 되면 그 위치에서 연조직과의 접선이 만들어지고 접선에 수직인 선이 연조직 하방의 뼈와 만나는 지점까지의 거리가 자동적으로 구해지고 이 값이 연조직 두께가 된다. 이 값이 정확한지 여부는 연조직 두께 계측 프로그램의 검증과정을 통해 다시 한 번 확인할 수 있었다(Fig. 1). 각 계측점에 대한 연조직 두께는 한 명의 관찰자가 일정한 시간 간격을 두고 10회 반복 계측하였다.

5) 실제 얼굴 연조직 두께 계측

Imagepro™ 소프트웨어 (INGPLUS, Seoul, Korea)를 실행하여 카메라로 촬영한 실제 절단면 디지털 영상을 열어서 영상의 측정자 5 cm에 해당하는 픽셀(pixel)의 수를 저장하여 보정한 후 단면의 연조직에서 뼈까지의 실제 두께를 계측하였다(Fig. 2). 각 계측점에 대한 연조직 두께는 한 명의 관찰자가 일정한 시간간격을 두고 10회 반복 계측하였다.

6) 실제 얼굴 연조직 두께 계측치와 3차원 영상을 이용한

얼굴 연조직 두께 계측치의 비교분석

10회 반복하여 측정된 실제 얼굴 연조직 두께 계측치와

Table 1. The name and location of measuring points on the face

Location of landmarks	Number
2 cm region above glabella (A3) and 2.5 cm (A2, A4), 5 cm (A1, A5) regions apart from A3 bilaterally	5
Glabella (B3) and 2.5 cm (B2, B4), 7.5 cm (B1, B5) regions apart from B3 bilaterally	5
Nasion (C2) and both epicanthions (C1, C3)	3
Rhinion (D2) and both zygions (D1, D3)	3
Both maxillares (E2, E3) and both exmolares (E1, E4)	4
Subnasale (F3) and 2.5 cm (F2, F4), 7.5 cm (F1, F5) regions apart from F3 bilaterally	5
Fissure (G3) and 2.5 cm (G2, G4), 5 cm (G1, G5) regions apart from G3 bilaterally	5

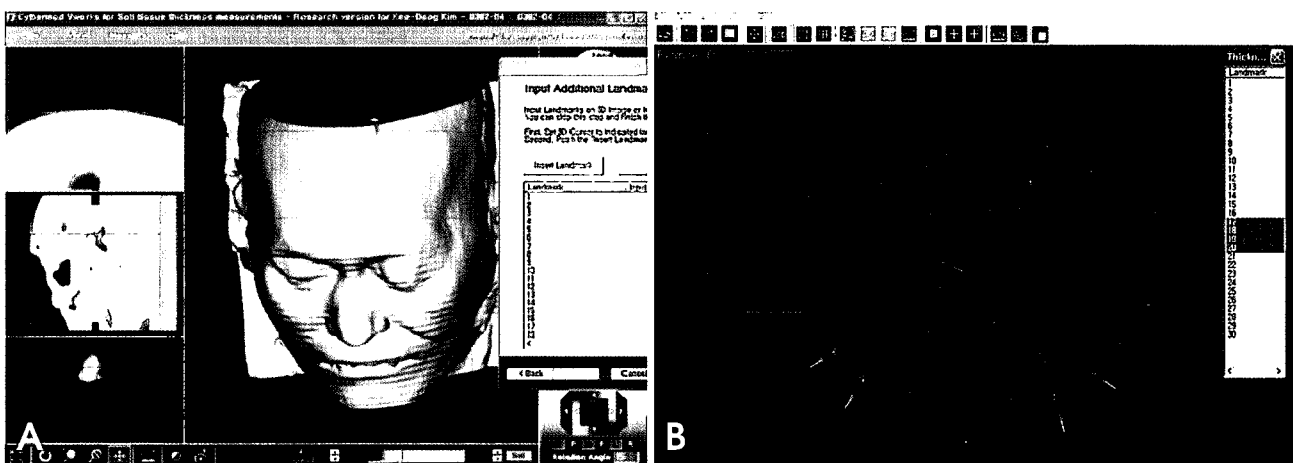


Fig. 1. A. Facial soft tissue thickness measurement on three-dimensional computed tomographic image model by V-works™4.0. The crossing point is the measuring landmarks. B. Verification of the measured points. Distance between crossing points is the facial soft tissue thickness.

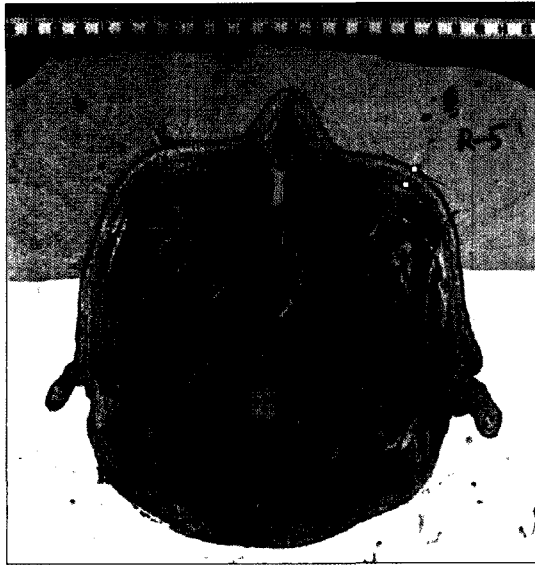


Fig. 2. Measurement on the picture by Imagepro™. The line is drawn perpendicular to the skin.

3차원 영상을 이용한 얼굴 연조직 두께 계측치에 대해서 관찰자내의 차이를 분석하였다. 또한 10회 반복 측정된 것을 고려하여 repeated measure analysis of variance (ANOVA)를 이용하여 두 방법을 이용한 계측값의 차이를 비교분석하였다. 동일 부위에 대해서 실제 얼굴 연조직 두께 계측치와 3차원 영상을 이용한 얼굴 연조직 두께 계측치에 대해 비모수적인 Mann-Whitney test로 검정하였다.

결 과

10회 반복하여 측정한 실제 얼굴 연조직 두께 계측치와 3차원 영상을 이용한 얼굴 연조직 두께 계측치에 대해서 관찰자내에서 통계학적으로 유의할만한 차이는 없었다. ($p > 0.05$) 또한 Repeated measured ANOVA test를 통해 계측부위와 상관없이 실제 얼굴 연조직 두께 계측치와 3차원 전산화단층촬영 영상을 이용한 얼굴 연조직 두께 계측값을 비교 분석한 결과 두 계측값사이에는 통계학적으로 유의할만한 차이가 없었다 ($p > 0.05$).

계측부위별로 나누어 실제 얼굴 연조직 두께 계측치와 3차원 영상을 이용한 얼굴 연조직 두께 계측치를 Mann-Whitney test로 비교 분석하였다. 총 30개의 계측부위중에서 13개의 계측부위에서 통계학적으로 유의성 있는 차이가 없었으며 ($p > 0.05$), 모든 부위에서 평균값이 두 계측 모두 거의 차이가 없었다. 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보이는 부위들도 실제 두께 계측치와 3차원 영상을 이용한 두께 계측치의 차이 평균값이 두 부위 (E4, F5)를 제외하고는 모두 0.5 mm 이내였다 (Table 2).

Table 2. Mean value and mean difference of Direct and 3D Measurement (mm)

Area	Direct measurement		3D measurement		3D-Direct	
	Mean	SD	Mean	SD	ME	SD
A1	2.043 ± 0.043		2.104 ± 0.006*		0.061 ± 0.041	
A2	2.826 ± 0.061		2.830 ± 0.031		0.004 ± 0.065	
A3	1.614 ± 0.054		1.628 ± 0.002*		0.015 ± 0.051	
A4	2.038 ± 0.062		2.004 ± 0.032		-0.033 ± 0.066	
A5	2.067 ± 0.047		2.182 ± 0.006*		0.116 ± 0.045	
B1	5.634 ± 0.082		5.561 ± 0.054*		-0.073 ± 0.094	
B2	3.492 ± 0.085		3.526 ± 0.017		0.034 ± 0.082	
B3	2.241 ± 0.040		2.283 ± 0.014*		0.042 ± 0.040	
B4	3.173 ± 0.065		3.165 ± 0.011		-0.008 ± 0.063	
B5	8.637 ± 0.162		8.821 ± 0.084*		0.182 ± 0.174	
C1	4.641 ± 0.042		4.692 ± 0.042*		0.050 ± 0.057	
C2	2.845 ± 0.063		2.821 ± 0.029		-0.034 ± 0.066	
C3	3.256 ± 0.086		3.345 ± 0.067*		0.092 ± 0.104	
D1	6.764 ± 0.053		6.828 ± 0.020*		0.064 ± 0.054	
D2	1.579 ± 0.066		1.594 ± 0.037		0.014 ± 0.072	
D3	4.655 ± 0.081		4.657 ± 0.063		0.001 ± 0.098	
E1	43.123 ± 0.591		42.806 ± 0.365		-0.320 ± 0.663	
E2	11.250 ± 0.141		11.515 ± 0.170*		0.262 ± 0.212	
E3	34.629 ± 0.439		34.395 ± 0.000		-0.233 ± 0.419	
E4	37.056 ± 0.498		36.249 ± 0.280*		-0.805 ± 0.544	
F1	26.324 ± 0.105		25.949 ± 0.492		-0.381 ± 0.480	
F2	7.953 ± 0.029		7.943 ± 0.016		-0.010 ± 0.031	
F3	9.051 ± 0.031		9.074 ± 0.024*		0.023 ± 0.037	
F4	8.174 ± 0.077		8.247 ± 0.060		0.071 ± 0.093	
F5	25.410 ± 0.070		26.189 ± 0.270*		0.781 ± 0.266	
G1	9.735 ± 0.078		9.401 ± 0.193*		-0.330 ± 0.198	
G2	10.650 ± 0.131		10.474 ± 0.132*		-0.175 ± 0.177	
G3	11.041 ± 0.081		10.926 ± 0.019*		-0.116 ± 0.079	
G4	8.825 ± 0.058		8.976 ± 0.051*		0.150 ± 0.074	
G5	8.793 ± 0.098		8.825 ± 0.172		0.028 ± 0.028	

Mean : mean value of measurements, ME : mean difference between Direct and 3D measurement, * : statistically significant difference at $p < 0.05$, SD : standard deviation

고 찰

사회가 발전하면 할수록 많은 사건 사고들과 자연재해로 인해 대형 인명피해가 종종 발생하게 된다. 특히 9·11 테러사건이나 대구지하철참사와 같은 인재는 물론 최근 동남아 지역에 발생한 쓰나미와 같은 자연재해와 같은 대형 참사가 일어난 경우에 무수히 많은 시신들에 대해서 신원확인을 하는 과정이 매우 중요하다. 이런 개인식별 과정에서 가장 유용하게 사용되고 중요한 부위가 얼굴이다. 그러나 대형참사에서는 대부분 사상자의 얼굴부위가 많이 손상되기 때문에 정확한 얼굴 복원을 할 수 있다면 원활한 개인식별을 하는 데 많은 도움을 줄 수 있다. 실제로 법의학이나 체질인류학 분야에서는 얼굴 복원을 중요하게 다루고 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 손상된 얼굴조직의 복원은 잔존 얼굴뼈를 이용하는 데 얼굴뼈 부위에 따라 평균적인 얼굴 연조직 두께를 알 수 있

다면 정확한 얼굴 복원을 할 수 있을 것이다. 평균적인 얼굴 연조직 두께를 얻기 위해서는 표본수가 충분히 많아야 하며 연령, 성별, 인구집단에 따른 차이도 고려한 데이터가 구축되어야 한다.

얼굴 연조직 두께를 측정하는 고전적인 방법으로 과거에는 시신에서 직접 측정하였으나 이런 방법으로 얻을 수 있는 데이터의 양은 극히 제한적이 될 수밖에 없고 측정하는 것 자체도 많은 시간과 비용이 들게 된다. 또한 이렇게 데이터를 얻더라도 얼굴의 해부학적 위치에 따라 연조직 표면에서 대응되는 하부 뼈 조직까지 정확하게 측정되었다는 것을 입증할 수 없기 때문에 데이터의 정확성에도 문제가 생기게 된다. 또한 시신은 사망 초기의 탈수로 인한 연조직의 수축을 감안하여 이에 대한 보정을 해야만 정확한 얼굴 복원을 할 수 있다는 복잡한 문제가 있다. 그리고 시신의 연조직은 단단하기 때문에 연조직 하방의 뼈 구조를 측정할 수 없어서 하방의 뼈 구조물의 위치를 확인하면서 측정하기가 매우 어렵다.⁵

이런 시신에서 직접 연조직 두께를 측정하는 방법의 한계점을 극복하기 위해 여러 가지 영상을 사용하는 방법이 사용되어 왔다. 지금까지 영상을 이용하여 연조직 두께 측정을 시도한 연구는 일부 보고^{1,5,9,12,13} 되어 왔으나 그 측정값의 정확성과 신뢰도를 평가한 연구⁵는 극히 드물다. 최근에는 연조직 두께 측정에 이용되는 영상법 중에서 전산화단층촬영을 이용한 방법이 주를 이루고 있다. 전산화단층촬영은 1970년 초반에 소개된 이후로 두경부 부위의 뼈 조직뿐만 아니라 연조직까지 볼 수 있는 고대조의 해상도를 보이는 단면영상을 제공해 주었다.

전산화단층촬영 장치의 발전과 더불어 3차원영상과 다평면 재구성 영상(Multiplanar reconstruction, MPR) 등을 얻을 수 있는 소프트웨어의 개발이 함께 이루어지고 고성능의 컴퓨터들이 등장하게 되면서 과거에는 대형컴퓨터에서만 사용할 수 있던 전산화단층영상의 영상 조작기능들이 개인용 컴퓨터에서도 가능하게 되었다. 이런 기술적 발전으로 인해 전산화단층촬영을 이용한 얼굴 연조직 두께의 보다 정확한 측정이 가능하게 되었다. 전산화단층촬영의 다평면 재구성 영상에서 연조직 표면과 뼈 표면사이 두 점의 거리를 측정하는 방법으로 얼굴 연조직 두께를 측정한 연구에서 실제 연조직 두께 측정값과 비교한 결과 전산화단층촬영 영상을 이용한 얼굴 연조직 두께 측정값의 정확성이 아주 높다고 보고하였다.⁵ 그러나 이 방법은 측정하고자 하는 부위를 단면영상에서 정확히 찾아서 두 점을 선택하여 측정하기 때문에 번거롭고 측정이 3차원이 아닌 2차원적인 단면에서 이루어짐으로써 임상적 적용에 한계가 있었다. 따라서 3차원 영상에서 직접 얼굴 연조직 두께를 측정할 수 있는 프로그램을 개발하여 이의 정확성과 신뢰성을 입증할 수 있다면 데이터를 수집할 수 있는 시간, 노력 등이 절감되어 정상인의 얼굴 연조직 두께에

대한 방대한 자료를 축적할 수 있다. 이에 본 연구에서는 3차원 얼굴 연조직 두께 측정 프로그램을 개발하여 얼굴 연조직 두께를 측정하고 실제 측정값과의 차이를 비교 분석하여 프로그램의 정확성과 신뢰성을 평가하였다.

새로 개발한 3차원 얼굴 연조직 두께 측정 프로그램은 실제로 3차원적인 공간 측정이 가능하지만 측정값의 정확성과 신뢰성이 아직 검증되지 않았기 때문에 본 연구를 시행하였다. 본 연구에서는 단지 3차원 얼굴 연조직 두께 측정 프로그램의 정확성을 평가하는 것이기 때문에 실제 연조직 두께 측정과 가능한 동일한 두 점을 측정할 수 있도록 실험방법을 설계하였다. 따라서 전산화단층촬영 준비시 나오는 위치 확인 레이저선(guiding line)이 지나는 횡단면을 실제로 절단하고 영상을 이용한 얼굴 연조직 두께 측정도 횡단면상에서만 측정하기로 하였다. 두 측정방법의 오차를 최소화하기 위한 이러한 노력에도 불구하고 실험과정에서 많은 어려움이 있었다. 먼저 시신의 얼굴부위에 플라스틱 원통을 위치시킨 후 상자에 경석고를 부어 시신을 고정하는 과정에서 석고의 경화로 인한 발열과 절단면 제작시 골절기의 발열로 인한 연조직 손상을 최소화하기 위한 급속냉동과정에서 생기는 급격한 온도변화로 인해 연조직에 변형이 있을 가능성을 완전히 배제할 수 없다. 또한 실제 절단하는 과정에서 골절기를 석고에 표시된 절단선에 일치하도록 하였지만 절단과정에서 약간만 절단선에서 빗겨가게 되면 측정위치가 달라질 수 있는 문제가 있었다. 이러한 오차 가능성들에도 불구하고 실제 얼굴 연조직 두께 측정치와 3차원 영상을 이용한 얼굴 연조직 두께 측정치는 통계적으로 유의할만한 차이가 없이 매우 높은 정확성을 보였다(Table 2).

측정부위별로 실제 연조직 두께 측정과 3차원 영상을 이용한 연조직 두께 측정을 비교한 결과 17개의 부위에서 통계학적으로 유의성 있는 차이가 있었으나 2부위(E4, F5)를 제외하고는 모두 10회 평균값의 차이가 0.5mm 이내의 차이를 보였다. 0.5mm 이상의 차이를 보인 두 부위를 분석해 본 결과 두 부위 모두 연조직의 측정점은 물론 하방골의 측정점이 급격한 곡선상의 점이였기 때문에 프로그램의 정확성이 떨어져서 나온 결과라기 보다는 위치 선정시 작은 오차에도 큰 차이를 보여서 생긴 결과로 사료된다. 또한 한 부위에 대해 10번 반복 측정한 값에 대해서 비교했기 때문에 부위와 상관없이 분석한 경우보다 표본수가 매우 작아서 통계학적으로 예민한 결과가 나온 것이며 반복 측정 횟수가 더 많으면 많을수록 좋은 결과가 있을 것으로 사료된다.

실제 연조직 두께 측정과 3차원 영상을 이용한 연조직 두께 측정의 10번 반복 측정값의 표준편차를 비교해 보면 3차원 영상을 이용한 연조직 두께 측정이 전반적으로 낮은 것으로 나타났다. 이는 실제 연조직 두께 측정은 두 점을 선택하여 두께를 측정하는 것에 비해 3차원 영상

을 이용한 연조직 두께 측정은 연조직에서 한 점만 선택하면 측정이 되기 때문에 측정위치 선택시 오차가 줄기 때문인 것으로 생각된다.

Kohn 등(1992)¹⁸에 의하면 두경부의 3차원 영상을 재측할 때 생길 수 있는 오류는 크게 3가지 종류가 있다고 하였다. 첫 번째는 디지털 영상 생성시의 오류, 두 번째는 3차원 영상에서 측정점을 잘 찾지 못해서 생길 수 있는 오류, 그리고 마지막 세 번째는 측정자가 컴퓨터의 하드웨어나 소프트웨어에 대한 조작 미숙으로 Z축까지 고려해야 되는 3차원 영상에서 측정점을 정확히 지정하지 못해서 재측할 때 생길 수 있는 오류라고 하였다. 이 연구에서도 MPR (multiplanar reconstruction) 화면상에서 확대된 영상을 마우스 포인터로 연조직의 위치를 설정하는 도중에 원통형 플라스틱의 중심부분을 정확히 선택하여야 하는데 약간이라도 다르게 위치할 경우 밑의 뼈의 굴곡에 따라 굴곡이 심한 부위에서는 조금의 위치 차이가 재측치의 큰 차이를 보여주어 많은 주의를 필요로 하였다. 그래서 횡단면 영상을 최대한 확대한 상태에서 측정점을 선정함으로써 미세한 위치 차이를 최소화하였고 그 위치를 관상면과 시상면에서 다시 한번 확인하였으며 이런 과정을 통해서 대부분의 3차원 영상을 이용한 재측치가 실제 재측치와 차이가 없었으며 통계학적으로 차이가 있다 하더라도 그 차이가 0.5 mm 이내에 불과하였다.

본 연구결과를 기반으로 향후 생체 연조직 두께 측정에 대한 연구를 활발히 진행할 수 있을 것으로 생각된다. 전산화단층촬영을 한 한국인의 정상인 얼굴 부위 연조직 두께를 영상에서 재측하여 이를 후행 연구하게 되면 한국인의 평균 얼굴 부위 연조직 두께는 물론 연령, 성별 등에 따른 차이도 알 수 있게 되리라 사료된다. 이 실험값들이 체계적으로 구축되면 한국인의 얼굴 형태 특징을 추정할 수 있으며 이는 우리나라의 고고인류학 연구에도 많은 도움을 줄 수 있을 뿐 아니라 미래의 한국인의 얼굴 형태의 변화 양상도 예측할 수 있을 것이다. 또한 국제적 연구 교류와 협조를 통하여 각 인구집단 간의 얼굴 형태도 비교하고 얼굴 복원을 통하여 인류의 얼굴 변화 양상을 분석, 예측하는 데 큰 영향을 줄 수 있으리라 사료된다.

또한 아울러 본 연구에서는 한 시신을 대상으로 하였으나 보다 많은 시신을 이용하여 정확성을 다시 한번 확인하는 과정이 필요할 것으로 생각되며 전산화단층촬영 조건을 실제 임상 조건과는 다른 상층두께 3 mm, table speed 3 mm/sec의 조건으로 비교적 자세하게 촬영하여 비교하였기 때문에 실제 임상에서 적용해 보기 위해서는 임상과 비슷한 조건으로 얻은 영상과 비교하는 연구가 향후 뒷받침되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Phillips VM, Smuts NA. Facial reconstruction: utilization of computerized tomography to measure facial tissue thickness in a mixed racial population. *Forensic Sci Int* 1996; 83 : 51-9.
2. Krogman WM, İşan MY. The human skeleton in forensic medicine. Springfield: Charles C. Thomas; 1986.
3. İşan MY, Helmer RP. Forensic analysis of the skull: craniofacial analysis, reconstruction and identification, New York: Wiley; 1993.
4. Aulsebrook WA, Becker PJ, İşan MY. Facial soft-tissue thickness in the adult male Zulu. *Forensic Sci Int* 1996; 79 : 83-102.
5. Kim KD, Ruprecht A, Wang G, Lee JB, Dawson DV, Vannier MW. Accuracy of facial soft tissue thickness measurements in personal computer-based multiplanar reconstructed computed tomographic images. *Forensic Sci Int* 2005; 155 : 28-34.
6. 김희진, 강민규, 허경석, 김창현, 정인혁. 한국인 얼굴 연조직의 두께. *대한법의학학회지* 1999; 23 : 117-21.
7. Hodson H, Lieberman LS, Wright P. In vivo measurements of facial tissue thicknesses in American caucasoid children. *J Forensic Sci* 1985; 30 : 1100-12.
8. Rhine JS, Campbell HR. Thickness of facial tissues in the American Blacks. *J Sci* 1980; 25 : 847-58.
9. George RM. The lateral craniographic method of facial reconstruction. *J Forensic Sci* 1987; 32 : 1305-30.
10. Walker GF, Kowalski CJ. A two-dimensional coordinate model for the quantification, description, analysis, prediction and simulation of cranio-facial growth. *Growth* 1971; 35 : 191-211.
11. Lebedinskaya GV, Balueva TS, Veselovskaya EV. Principles of facial reconstruction. In: İşan MY, Helmer RP. Forensic analysis of the skull: craniofacial analysis, reconstruction and identification. New York: Wiley; 1993. p. 183-98.
12. 한승호, 박대균, 김문규, 천명훈. 한국인 얼굴복원 (facial reconstruction) 에 관한 연구, I. 한국인 얼굴두께. 제48회 대한해부학회 학술대회 초록집 1998. p. S67.
13. El-Mehallawi IH, Soliman EM. Ultrasonic assessment of facial soft tissue thicknesses in adult Egyptians. *Forensic Sci Int* 2001; 117 : 99-107.
14. Vannier M, Marsh J, Warren J. Three-dimensional CT reconstruction images for craniofacial surgical planning and evaluation. *Radiology* 1984; 150 : 179-84.
15. Salyer KE, Taylor DP, Billmire DE. Three-dimensional CAT scan reconstruction: pediatric patients. In: Kalisman M. *Clinical Plastic Surgery*. Vol. 13, Philadelphia: W.B. Saunders Company; 1986.
16. Lambrecht JT, Brix F. Three-dimensional skull identification via computed tomographic data and video visualization. In: İşan MY, Helmer RP. Forensic analysis of the skull: craniofacial analysis, reconstruction and identification. New York: Wiley; 1993. p. 97-104.
17. Lam EW, Hannam AG, Wood WW, Fache JS, Watanabe M. Imaging orofacial tissues by magnetic resonance. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1989; 68 : 2-8.
18. Kohn LA, Cheverud JM, Bhatia G, Commean P, Smith K, Vannier MW. Anthropometric optical surface imaging system repeatability, precision, and validation. *Ann Plast Surg* 1995; 34 : 362-71.