

Craniofacial CT Data의 가상수술적 조작 효용성

조진호¹ · 유선국^{2,3} · 김희중⁴ · 김용욱⁵

¹연세대학교 생체공학협동과정, ²연세대학교 의과대학 의학공학교실

³이동형응급의료정보 시스템 개발센터, 개인식별연구소, ⁴연세대학교 의과대학 진단방사선과학교실,

⁵연세대학교 의과대학 성형외과학교실

The Effect of the Virtual Surgical Operation with Craniofacial CT Data

Cho JH¹, Yoo SK^{2,3}, Kim HJ⁴, Kim YO⁵

¹Graduate program in Biomedical Engineering, ²Dept. of Medical Engineering

³Center for Emergency Medical Informatics, Human Identification Research Institute,

⁴Dept. of Diagnostic Radiology, ⁵Dept. of Plastic Surgery, Yonsei University

= Abstract =

The goal of this study is representing medical two-dimensional (2D) sectional image to three-dimensional (3D) volume by VRML (Virtual Reality Modeling Language) and JavaScript. Furthermore, we suggest the virtual surgical operation with craniofacial CT data. CT images were obtained from one patient with projected maxilla and small central face. We made object map of Bone segment images generated by sagittal splitting of mandible ramal osteotomy and Lefort I, II, III of maxilla osteotomy. The mandible and Lefort I, II, III of maxilla in the CT volume were segmented and rendered to VRML polygonal surfaces by marching cube algorithm. We gave each surface specified morphing route and fuse each surface into one volume data. We embedded user interface tool with JavaScript routines to display 3D surface models, set transparencies of 3D surface models and give optional movability to 3D models. The developed application has several advantages. First, the user can easily contact to this application on the web and take intuitive information more efficiently. Secondly, the virtual surgical operation is cheaper than the osteotomy using cephalometry or using rapid prototyping. Finally, the doctor can simulate without restriction of simulation times. Our suggestion will be helpful on diagnostic plastic surgery, interest of patients and surgical operations.

Key words: VRML, WEB Visualization, 3D display, Morphing, Volume rendering

통신저자: 유선국, (120 - 752) 서울시 서대문구 신촌동 134

연세대학교 의과대학 의학공학교실, 이동형응급의료 정보시스템 개발센터, 개인식별연구소

Tel: 02 - 361 - 5403, Fax: 02 - 363 - 9923, E - mail: sunkyoo@yumc.yonsei.ac.kr

This work was supported by a grant from the Basic Research Program of the Korea Science and Engineering Foundation (KOSEF) under Grant R01 - 2002 - 000 - 00205 - 0, Yonsei University, Seoul, Korea.

1. 서 론

의료 분야에서 대표적인 컴퓨터 영상으로는 컴퓨터 단층 촬영(Computerized Tomography, CT)나 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging, MRI)를 들 수 있다. 이 영상들은 모두 컴퓨터를 이용하고 디지털 데이터 형태로 저장, 전송, 영상화가 가능한 진단 방법이다. 그 결과 이러한 영상은 의학적인 진단, 교육 및 치료 후 평가 등에서 매우 유용한 방법으로 사용되어 왔다 [1]. 특히 CT는 골조직의 영상화에 있어 뛰어난 해상도를 보여 줌으로서 두개 안면골 수술에 대한 교육이나 수술 전 계획 등의 목적으로 사용되어 왔다 [2]. 대부분의 의료영상의 분석은 Stand-Alone System을 사용하여 고품질의 3차원 영상 표현을 가능케 하며 전문적인 사용자에게는 매우 유용하다. 그러나, 고가이며 Internet을 이용하여 비전문적인 사용자가 용할 수 없다는 단점이 있다 [3]. 이 점에 착안하여, 사용자에게 동적 상호적인 인터페이스를 제공하는 VRML(Virtual Reality Modeling Language)을 이용한 연구가 국내 외에서 꾸준히 진행되었다 [4, 5]. [4]에서는 달팽이관(cochlea)의 CT 영상을 이용한 3D 모델링과 가시화를 보여주었고, [5]에서는 인터넷을 기반으로 한 Cardiovascular 병의 의학 진단 System을 제안하였다. 하지만, 단순 해부학적 3D 영상의 가시화는 많은 발전이 있는 반면, 기능성에 중점을 둔 영상 표현은 찾기 힘들다. 특히 복잡한 구조를 갖는 두개 안면골의 CT나 MRI를 갖고 VRML을 이용한 가상 시뮬레이션에 대해서는 연구가 미진하다 [6]. 두개 안면골 수술은 그 빈도가 높고, 성형외과학의 기초가 되는 수술이다. 따라서 과거 고가이며 전문가 중심의 Stand Alone System에서 벗어나 Web을 이용한 3차원 영상의 가시화는 경제성 및 수술 계획적 측면에서 효과가 매우 클 것이라 예상된다 [7].

이 논문에서는 한 환자의 CT 사진을 기본으로 VRML을 이용하여 인터넷을 통해 기존의 Stand Alone System에서 보여 주었던 3차원 입체영상을 가시화하였다. 또한 자바스크립트(JavaScript)를 이용하여 가상 안면골수술을 제시하였다.

2. 본 론

1.1. 대상

두개 안면골 수술 중 대다수를 차지하는, 하악골 돌출증 및 중안면부 왜소증을 가진 22세 남자 환자를 대상으로 하였다. 전송된 CT raw data는 Analyze AVW 5.0(Mayo Biomedical

Imaging Resource, Rochester, MN, USA Mayo Clinic, U.S.A. 등 삽입)을 이용하여 같은 voxel size의 3차원 입체 영상으로 재구성(reconstruction) 된 3차원 영상 파일을 생성하였다.

1.2. 재료 및 방법(Material & Methods)

1.2.1. CT 영상의 획득

CT 촬영은 고해상도의 연속적이며 중복되지 않는 3 mm 두께의 CT axial slice로 촬영하였다. 촬영된 CT는 2mm 두께의 interpolation 후 DICOM 형식으로 저장, 및 Personal computer (PC)로 전송되었다.

1.2.2. 관심 영역의 분할 및 3차원 영상 획득

기존의 CT 사진에서 관심 영역은 안면 골 중 상악골과 하악골 수술 시 가장 기본적으로 시행되고 있는 인 절골술(osteotomy)과 그에 의해 발생하게 되는 골 절편(bone segment)에 해당하는 부위로 설정하였다. 그 결과로 하악골(Mandible)의 시상절골술(Sagittal Splitting of Ramal Osteotomy)과와 상악골(maxilla)의 Lefort I, II, III 절골술에 의해 발생되는 골편(Bone segment)의 영상을 Analyze AVW 5.0 프로그램에서 분할(Segmentation)하여 객체(Object)화 하고 3차원 영상화 하였다 [8]. 구체적인 세부 과정은 아래와 같다.

(1) Analyze AVW 5.0의 Volume Render으로 에서 주어진 CT사진으로 가시화된 3차원 영상을 재구성한 후 기본 관심영역인 전체 두개안면골 조직의 영상을 으로 추출(Segment)한다 (Fig. 1). 이 분할은 분할 방법 중 Thresholding 방법을 사용하여 골조직만 영상화 시킬 수는 85 - 255의 Threshold level로 셋팅함으로써 전체 두개안면골 관심영역을 분할하였다. 분할된 영상을 Frankfort Horizontal plane(both porion & inferior orbitale를 지나는 평면) line을 따라 앞서 가시화 된 두개 안면골 3차원 영상을 정렬시킨다 [9]. 정렬된 영상에서 영상을 절골술의 관심 영역인 하악골(Mandible)의 시상절골술 후 발생하는 원위(distal) 하악골부, 상악골(maxilla)의 Lefort I, II, III 절골술 후 발생하게 되는 3개영역, 총 4개의 관심영역을 프로그램의 3차원 Editing 기법으로)로 추출(Segment)하고 이들을 각각의 영역 표시정보를 포함하는 Object Map으로 저장한다.

(2) 저장된 관심 대상의 영역(Object Map)을 Analyze AVW 5.0의 Surface Extractor로 불러들인다. 관심 대상의 영역

(Object map)으로 구성된 각 부분을 Marching Cube Algorithm[10]을 사용하여 다차원 표면 다각형(Polygon)으로 이루어진 3차원 영상으로 재구성하게 된다 (Fig. 2). 하지만 Marching Cube Algorithm을 이용한 가시화는 너무 많은 표면 다각형을 생성하는 단점이 있다 [11]. 이 점은 Web을 이용한 영상의 표현에 있어서는 효율적이지 못하다. 따라서 표면 영상의 다각형을 줄이는 작업(Polygon Reduction)은 필수적이다 [12]. 후처리 작업을 위해 AVW로 저장된 영상을 WRL 저장으로 변환하였다.

2.2.3. Polygon Reduction

재구성된 표면영상에 다각형의 수는 영상의 질과 가시화 시간에 상충적 관계이다. 많은 수의 다각형은 고품질의 영상을 보장하는 반면, 가시화에 많은 시간이 투자된다. 또한, 저 품질

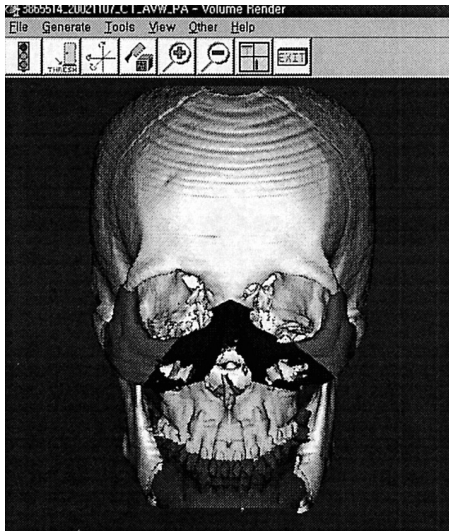


Fig. 1. Analyze AVW 5.0의 VolumeRender에서 관심영역을 Segment한 영상

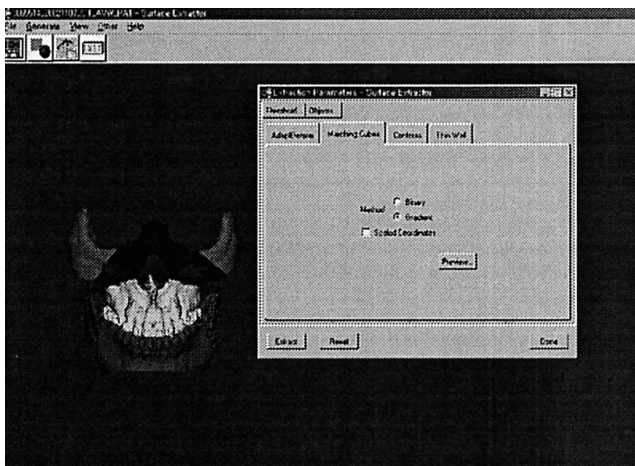


Fig. 2. Analyze AVW 5.0의 Surface Extractor, Marching Cube Algorithm을 이용, 표면 영상을 획득

의 의료 영상은 해부학적 이해나 수술 계획이나 가상 수술에 의한 결과의 평가에 있어 환자에 그 이해도나 효과를 저하시킬 수 치명적인 점이 될 수 있기 때문에, 가시화 시간보다는 진단 목적에 따른 영상의 품질에 중점을 두어야 한다 [13]. 따라서 이를 충족시키기 위해 의료 영상의 목적, 사용자의 PC 환경과, 네트워크(Network) 속도를 고려해야 된다. 본 논문에서는 Pentium III 1GHz의 PC 사양과, 국내에 보급되고 있는 10Mbps의 통신 환경을 고려하여 실험, 연구하였다. 추출된 관심영역의 3차원 표면에 대한 다각형 축소(Polygon reduction)는 3D Studio Max5.0 SW(discreet, San Francisco, U.S.A.) 하에서 수행되었다 (Fig. 3.).

2.2.4. 이동 경로(Morphing Route) 설정

기본적인 절골술(osteotomy)후 발생하는 에 사용되는 하악골(mandible) 골편과 상악골 (maxilla)의 Lefort I, II, III의 골편이 실제 수술 시 이동 가능한 경로이동경로를 고려한다. 3D Studio Max5.0의 커브에디터 모드(Curve Editor Mode)에서 시간에 따른 관심 부분의 이동경로(morphing route)를 지정하여준다 (Fig. 4). VRML 형식으로 저장 된 표면 영상은 Web에서 Cosmo player2.1(제조회사, 지역, 국가 삽입Cosmo Software, NY, U.S.A.)를 통하여 보여 진다(Fig. 5).

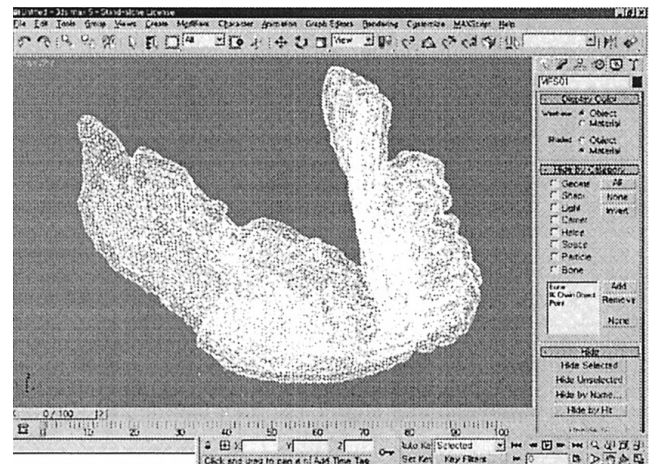


Fig. 3. 다각형 표면 영상을 3D Studio Max5.0에서 polygon reduction하는 영상

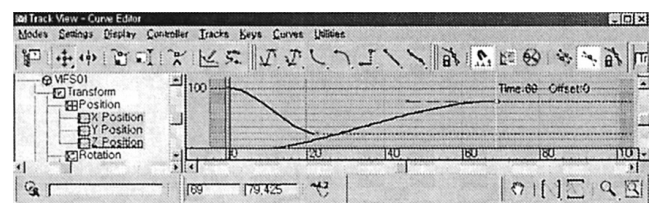


Fig. 4. 3D Studio Max5.0, Morphing Route 설정

2.2.5. VRML Programming

VRML Programming은 VRML 제작도구인 VRMLPad 2.0(parallelgraphics, Ireland, Russia)를 이용하였다. 이동경로가 지정된 하악골(mandible)과 상악골(maxilla)의 Lefort I, II, III 골편과 와 이동경로를 포함하지 않은 나머지 두개골의 모든 3D 영상 데이터를 VRMLPad2.0으로 Import한다 (Fig. 6). Web을 통해 3D로 재구성된 안면 두개골의 영상에 임의의 사용자로 하여금 하악골(mandible)의 이동을 가능하게 하는 인터페이스(interface)를 구축한다. 인터페이스는 Web 프로그래밍과 VRML 프로그래밍을 모두 지원하는 자바스크립트(JavaScript)를 이용한다 [14]. (Fig. 6)의 에서 보여지듯 우측 하단에 하악골과 상악골의 이동이 가능한 4개의 슬라이더 바(Slider Bar)를 구성하였다.

<우측 하단 4개의 슬라이더 바(Slider Bar)>

파란색 슬라이더 바: 상악골(maxilla)의 Lefort I 이동 경로

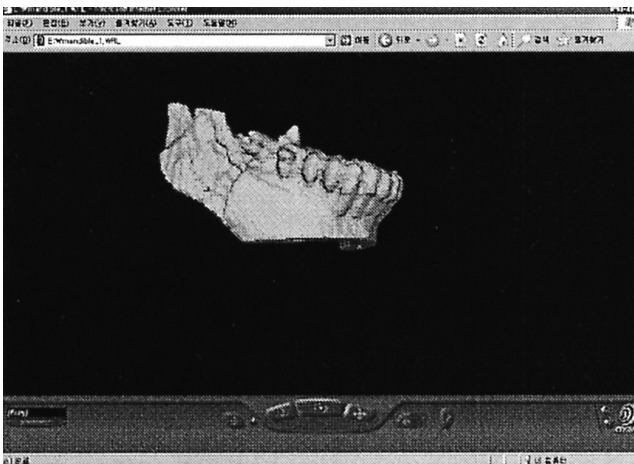


Fig. 5. CosmoPlayer2.1에서 보여지는 하악골(mandible) 영상

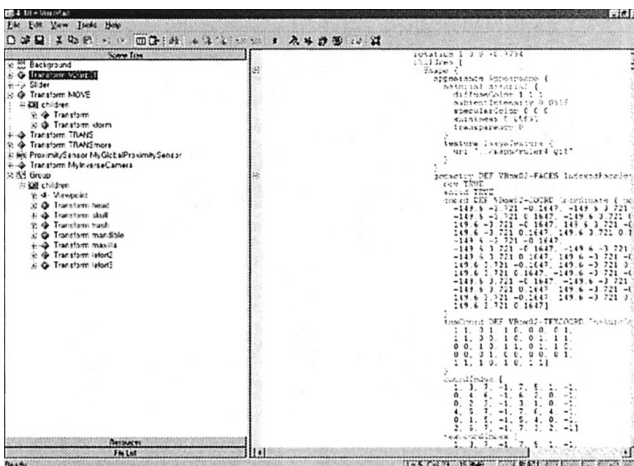


Fig. 6. VRMLPad2.0에서 하악골(mandible), 상악골(maxilla), 두개골 영상 및 피부조직유태

(morphing route)를 조작

노란색 슬라이더 바: 상악골(maxilla)의Lefort II 이동 경로(morphing route)를 조작

빨간색 슬라이더 바: 상악골(maxilla)의 Lefort III 이동 경로(morphing route)를 조작

연두색 슬라이더 바: 하악골(mandible)의 이동 경로(morphing route)를 조작

하악골(mandible)을 이동 경로(morphing route)를 따라 이동할 경우 피부 조직이나 골조직 영상에 겹쳐 정확한 이동 경로와 위치 관찰이 불편하였다. 이에 보다 정확한 시뮬레이션과 관찰의 용이성을 위해 투명도를 조정하는 방법으로 을 고안하였다. 우측 상단에 7개의 슬라이더 바(Slider Bar)를 구성하여 사용자의 편의성을 높이면서 야기된 단점을 해소하였다. 또한, 사용자의 필요에 따라 불필요한 부분의 영상을 제거할 수 있도록, 중앙 하단에 7개의 버튼을 설정하였다 (Fig. 7).

<우측 상단 7개의 슬라이더 바(Slider Bar)>

붉은색(Red) 슬라이더 바: 피부 조직의 투명도(Transparency)를 조작

파란색 슬라이더 바: 상악골(maxilla)의 Lefort I 투명도(Transparency)를 조작

노란색 슬라이더 바: 상악골(maxilla)의Lefort II 투명도(Transparency)를 조작

빨간색 슬라이더 바: 상악골(maxilla)의 Lefort III 투명도(Transparency)를 조작

연두색 슬라이더 바: 하악골(mandible)의 투명도

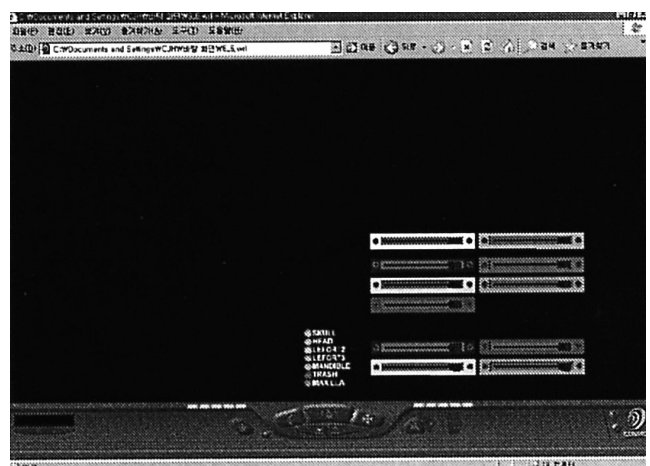


Fig. 7. Cosmo player2.1에서 VRML과 JavaScript로 고안된 12개의 슬라이더바(Slider Bar)와 7개의 버튼

(Transparency)를 조작

하늘색 슬라이더 바: 피부 조직의 투명도(Transparency)를 조작

보라색 슬라이더 바: Trash의 투명도(Transparency)를 조작

하얀색 슬라이더 바: 그 밖에 골조직의 투명도(Transparency)를 조작

<7개의 버튼>

파란색 버튼: 상악골(maxilla)의 Lefort I 가시화 조작

노란색 버튼: 상악골(maxilla)의 Lefort II 가시화 조작

빨간색 버튼: 상악골(maxilla)의 Lefort III 가시화 조작

연두색 버튼: 하악골(mandible)의 가시화 조작

하늘색 버튼: 피부 조직의 가시화 조작

보라색 버튼: Trash의 가시화 조작

하얀색 버튼: 그 밖에 골조직 가시화 조작

3. 결과 및 고찰

가시화된 영상은 Web을 통해 자연스럽게 표현되었으며 11개의 슬라이더 바(Slider Bar)와 7개의 버튼의 작동은 최적으로 고안된 다각형의 축소 비율이 적용되어 시각적 왜곡이나 시간적 지연 없이 수행됨을 확인하였다. 사진 (Fig. 8)에서 우측의 다각 축소 전 영상과 좌측의 축소 후 영상의 차이가 시각적으로 차이가 없음을 알 수 있다. 또한, 웹에서 영상을 로딩>Loading>하는 속도는 10회의 측정 결과 평균 5초의 지연이 있었으나 (표 1), 가시 영상을 조작하는데 시간적 지연은 없었다.

인간의 두개 안면골은 단순히 해부학적으로 이해하기에도 상

당한 어려움이 있는 매우 복잡하고 다양한 특징을 갖는 구조물이다. 특히 이 구조물에 대한 수술 처치에 대한 이해는 상당 부분이 직관적으로 이해하기에 어려움이 있어 왔다 [15]. 이에 이 분야의 전문 의사들은 수술 시 시행되는 수술에 대한 교육이나 수술 전의 수술에 필요한 예측이나 사전 계측치를 구하기 위해, 단순 X-ray 사진 중 Cephalometry를 이용하는 방법, CT 데이터를 기본으로 제작된 모형(rapid prototyping)을 이용하는 시뮬레이션 하는 방법, 그리고 치아 모델을 이용하는 방법들을 주로 사용해 왔다. 그러나, Cephalometry를 이용한 방법은 3차원적이 두개 안면구조물을 2차원(2D)의 평면적인 상에서 가상으로 예측해야 된다는 단점이 있으며, 그 결과에 대해 의사의 경험적 예측에 의존할 수밖에 없어 피교육자의 이해나 수술 후 평가에 있어 함께 공유할 수 있는 이해를 획득하기 어려워 각자의 주관적인 평가가 도출 될 수밖에 없는 상황이 흔히 발생하고 있다. 모형을 이용한 방법은 직관적인 이

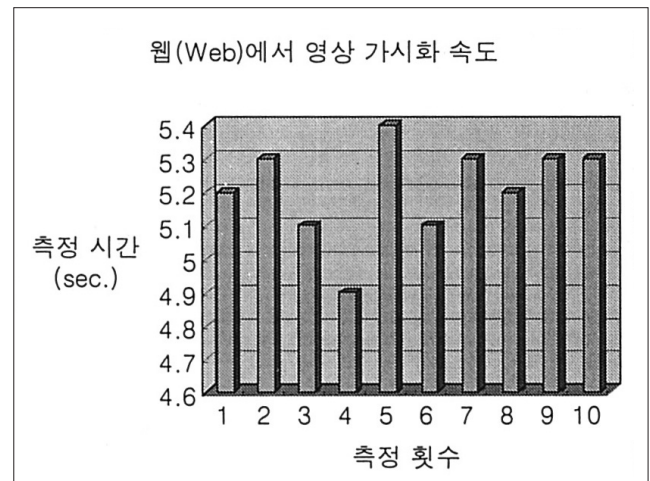


표 1. Web에서 표면 영상의 로딩 속도 측정

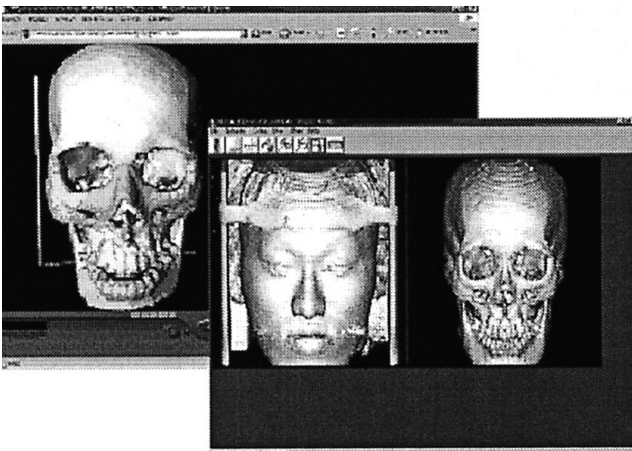


Fig. 8. 다각 축소(Polygon Reduction) 후 영상 Vs Analyze 5.0에서 다각 축소 전 Volume Render를 통해 본 영상



Fig. 9. 하악골(mandible), 상악골(maxilla)의 Lefort I, II, III를 이동 경로를 통해 이동시킨 영상

해를 가능케 하고 교육자, 피교육자, 수술 후 평가 등에 있어 이해의 공유도 역시 매우 높으나, 역시 모델 제작비용이 매우 고가이며 한번 잘려져 시현된 모형은 재활용되기 힘들어 한 개의 모델에 대해 1 회의 시물레이션밖에 시행할 수 없다는 횟수에 한계가 있다. 따라서 이 논문이 제시한 방법은 상대적으로 저가이며, 비교적 정확도가 높고 3차원 환경에서 가상 절골술이 가능한 툴로서 경제적 가치나 교육적 측면에서 의의가 크다. 또한 의사의 경험에 의존하는 것이 아니라 가상 시물레이션을 통해 주관적인 결과를 도출한다는 점에서 수술의 정확도를 높일 수 있다. 시각적인 영상과 결과는 환자의 이해도를 돕는다. 또한 2차원적 단면 구조와 연관되는 해부학적 지식뿐 아니라 의학교육 전반에 있어 큰 도움이 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 Web에서 VRML을 이용한 가상 안면 골 절골술의 한 방법을 제시하였다. Web을 통한 3차원 가시화 및 가상 이동(morphing) 기술은 몇 가지 측면에서 개선되어야 될 점이 있다. 첫째, 단순한 안면 골의 이동에서 벗어나 다기능적인 3차원 입체를 구성하기 위해서는 보다 정확한 3차원 모델이 필요하다. 하지만 3차원 모델의 기초가 되는 2차원 단면 사진의 증가 및 다각형(Polygon)의 수를 증가시키는 것은 영상 처리 시간을 증가시키며 Web을 통한 영상처리에 적합하지 않다. 둘째, 보다 정확한 시물레이션을 위해서는 안면 골의 이동에 따른 피부 표면 조직의 변화가 필요하다. 과거 경험에 의존하는 수술보다는 나은 해법을 제시하였으나 여전히 피부조직의 변화는 의사의 직감에 의해 예측 된다.

한 명의 환자와 안면골의 특정 부위에 국한되어 제시된 방법이지만, 본 연구에 쓰인 기능적 방법을 잘 응용한다면 다른 부분의 성형 수술에도 큰 도움이 되리라 생각된다. 또한 실험 과정에서 여러 가지의 SW를 이용하는 복잡한 과정이었지만, 사용자가 Web을 통해 간단한 조작만으로 시물레이션 할 수 있다는 점에 큰 의의가 있다. 결론적으로 Web 기반의 3차원 입체 영상 가시화 및 이동(Morphing) 기술은 가상 수술 및 교육적 측면에서 많은 도움을 줄 것이다.

참 고 문 헌

1. Cosic D: An open medical image processing and visualization.

- IEEE Trans Inform Technol Biomed 1:279-283
2. Sure U, Alberti O, Petermeyer M, Becker R, Bertalanffy H Advanced image-guided skull base surgery Surg Neurol 2000 53:56372
3. SK Yoo, Ge Wang, Fred Collison, Jay T. Rubinstein, Michael W. Vannier, Hee-J Kim, Nam H. Kim Three-dimensional localization of cochlear implant electrodes using epipolar stereophotogrammetry, IEEE trans. on Biomedical Engineering 2003
4. YOO SK, Wang G, Rubinstein JT, Skinner MW, Vannier MW Tree-dimensional modeling and visualization of the cochlea on the internet IEEE Trans Inf Technol Biomed 4(2):144-51(2000)
5. Brooke N. Steele, Mary T. Draney, Joy P. Ku, Member, IEEE, and Charles A. Taylor Internet-Based System for Simulation-Based Medical Planning for cardiovascular Disease IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE, VOL. 7, NO. 2, JUNE 2003
6. Sang Ho Lee, Sun Kook Yoo, Hee-Joung Kim; Visualization and Localization of three-dimensional fusion image using VRML; 의학물리학회 Vol14, No1;pp34-42
7. Sebastian Gerlachand Roger D. Hersch Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland A Real-time Navigator for the Visible Human IEEE INTERNET COMPUTING <http://computer.org/internet/> MARCH APRIL 2002
8. Pravin K Patel, MD, Chief, Plastic Surgery, Shriners Hospitals of Chicago; Assistant Professor, Department of Surgery, Division of Plastic Surgery, Children's Memorial Hospital, Northwestern University Craniofacial, Orthognathic Surgery; <http://www.emedicine.com/plastic/topic177.htm>
9. Kim Kwang-Won and Lee Dong-Joo; A CEPHALOMETRIC AND COMPUTERIZED STUDY ON THE CRANIOFACIAL PATTERN IN ADULT WITH NORMAL OCCLUSION; Korean journal of orthodontists ; 1990,20(1):87-99
10. Lorensen WE, Cline HE, Marching cubes; A high resolution 3D surface construction algorithm; Computer Graphics; 21(4) 163-169(1987)
11. SK Yoo, Nam H. Kim, Kyung S. Lee, " Polygon reduction of 3D objects using Strokes' theorem ", Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol.71, pp.203-210, 2003 (SCI)
12. Murdoc KL: 3D Studio Max R3 Bible. Hungry Minds Inc (2000)
13. William J. Schroeder, Jonathan A. Zarge, Willam E. Lorensen; Decimation of Triangulation Meshes; Computer Graphics; Vol26, pp65-70
14. Gerhard Reitmayr, Shane Carroll, Andrew Reitemeyer, Michael G. Wagner; DeepMatrix-An open technology based virtual environmental system; the visual Computer; 15:395-412
15. Haijo Jung, Hee-Joung Kim, Dong-Ook Kim, S; Quantitative Analysis of Three-Dimensional Rendered Imaging of the Human Skull Acquired from Multi-Detector Row Computed Tomography; Journal of Digital Imaging; vol 15, No4 pp232-239

=초 록=

본 논문에서는 VRML과 Javascript를 이용하여 의료 2차원 단편 영상을 3차원으로 재구성 하였다. 특히 Craniofacial CT 데이터의 가상 수를 조작 방법을 제시하였다. 영상분할과 matching cube 알고리즘을 사용하여 VRML 뼈 조직 모형들을 가상으로 생성하였다. 특히 물평기술과 Javascript를 이용한 오의 수술은 의료교육과 모의 성형수술을 이해하는데 기초를 제공한다.