

전산화단층상을 이용한 측두하악관절의 삼차원 재구성상의 비교연구

전북대학교 치과대학 구강악안면방사선학 교실

임 숙 영 · 고 광 준

목 차

- I. 서 론
- II. 연구대상 및 방법
- III. 연구성적
- IV. 총괄 및 고안
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록
- 사진부도

I. 서 론

1973년 전산화단층촬영법(computed tomography)이 개발됨으로써 방사선사진상에서 복잡한 골구조물과 연조직의 관찰이 보다 용이하게 되었다⁴⁾. 초기에는 작은 주사갠트리(scanner gantry)의 사용으로 주사방향이 횡단면(axial)으로 제한되었으나 컴퓨터 소프트웨어의 빠른 진보로 원래의 주사면과 다른 방향에서 화소(pixel)의 열을 선택하여 재배열하는 방법이 도입되었다^{31,32,36)}. 주사상과 이차원재구성상은 임상적으로 병소의 범위 및 비정상적인 구조물을 관찰하는 데 유용하지만 구조적으로 복잡한 형태이상은 관찰이 어렵고 특히 해부학적 구조물의 공간적 위치 관계를 이해하는 데 어려움이 있다.

이에 삼차원상에 대한 필요성이 대두되었으며 컴퓨터그래픽스 이론과 디지털 영상기술의 발전

으로 삼차원 재구성이 가능하게 되었다^{3,46,51)}. 초기에는 흑화도 역치(density threshold)를 이용하여 이원화한 후 경계검출연산(boundary detection algorithm)으로 내면과 외면의 경계를 보존하고 삼차원재구성 후 심도를 부여하는 표면 렌더링(surface rendering)이 이용되었으나 이의 이용은 관절 및 척추, 두개안면 등 골격구조에 국한되었다^{32,49,50)}.

이에 근골격계를 동시에 관찰할 수 있는 삼차원상에 대한 관심이 증가되어 최근에는 전산화단층상의 데이터가 모두 보존된 상태에서 일련의 단층상(stack)을 볼륨(volume)으로 처리하는 볼륨렌더링(volume rendering)이 개발되었다. 즉 회색조(gray scale)에 색깔과 투명도(transparency)를 부여하여 물체의 두께 및 내부구조물의 모든 표현이 가능하게 되었다. 이로써 흉부와 복부의 골조직은 물론 근조직 및 신경혈관계 등 세밀한 구조의 관찰이 가능하게 되었고 표면의 구조를 세밀하게 나타낼 수 있어 모의수술에 이용할 수 있게 되었다^{5,6,7)}. 이와같이 이차원재구성상 및 삼차원재구성상은 전산화단층상의 데이터를 재배열함으로써 종래의 전산화단층상의 진단학적 가치를 증진시키고 복잡한 해부학적 구조물도 나타낼 수 있게 되었다. 또한 삼차원재구성상은 병변의 위치와 범위 및 결합에 대한 공간 관계를 이해하는데 도움을 주며 수술계획을 세우고 술후 결과를 평가하는 데에도 유용한 정보를 제공할 수 있다.

이러한 전산화단층촬영법은 구조 및 기능이 복잡한 악관절장애의 진단에도 도입되어 관절원판의 위치변화 및 손상과 관련된 악관절내장증을 이해하는 데 보다 많은 정보를 제공하게 되었다. 전산화단층촬영법을 이용한 관절원판의 위치 및 형태에 관한 연구로서 Helms 등¹⁴⁻¹⁷⁾은 횡단면주사(axial scanning) 후 명멸방식(blink mode)에서 시상면재구성(sagittal reconstruction)을 하였으며 Fjellstroem⁹⁾, Thompson 등⁴⁷⁾은 시상면 및 관상면재구성(coronal reconstruction)을 시행하였다. 또한 Cohen²⁾, Kuiji²³⁾, Manco²⁷⁾, Manzione^{29,30)}, Sartoris⁴²⁾, Simon⁴⁵⁾, Wayne⁵²⁾ 등은 보조기구를 이용하여 직접시상면주사(direct sagittal scanning)상을 얻었으며 Manco 등²⁸⁾은 부목요법(splint therapy) 후 평가에도 직접시상면주사상을 이용하였다. 한편 Cohen²⁾, Kuiji²²⁾, Manzione³⁰⁾, Thompson⁴⁸⁾ 등은 관절원판의 위치 판별 및 외상병력이 있는 경우에는 전산화단층촬영법이 유용하고 관절원판 내부구조의 이상, 즉 천공이 의심되거나 기능 평가 시에는 악관절조영촬영법이 유용하다고 하였다.

이와 더불어 공간적 인지가 가능하고 비정상적인 해부학적 구조를 식별할 수 있는 삼차원 상에 대한 관심이 증가되어 Roberts 등⁴¹⁾은 사체를 이용하여 최초로 측두하악관절에 관상면 주사 후 삼차원으로 재구성하였으며, Pettigrew 등³⁹⁾은 투명도방식(transparent mode)을 이용하여 전방변위시킨 관절원판의 삼차원재구성을 시도하였다. Moaddab³⁴⁾는 사체의 측두하악관절에 횡단면, 관상면, 시상면 주사를 시행하고 삼차원으로 재구성한 후 여러 각도에서의 다양한 상을 제시하였으며 정량분석의 가능성을 보고하였다. 한편 Kursunoglu 등²⁴⁾은 삼차원재구성상에서 관절원판 자체의 해상력은 좋지 않다고 보고하였다. Dijkgraaf 등³⁾은 사체의 측두하악관절에 대한 조직표본을 제작, 사진촬영, 디지털 변환 후 삼차원으로 재구성하여 구성요소의 상호관계와 관절원판의 위치 및 형태를 관찰하였다. 이후 Price 등⁴⁰⁾은 정상인 및 사체의 측두하악관절에 자기공명영상법을 시행하고 표면렌더링 후 측두하악관절의 공간적 위치 관계와 운동양상에 대하여 보고한 바 있다.

한편 국내에서는 김 등⁵⁶⁾이 정위고정성수술(stereotactic surgery)시 삼차원 전산화 모의장치(three-dimensional computer simulation)에 관한 연구를 시행한 바 있으며 송과 고⁵⁶⁾는 안면골의 전산화단층상을 전산화단층촬영장치에 내장된 삼차원재구성 프로그램과 컴퓨터영상분석장치(computer image analysis system)를 이용하여 삼차원상으로 재구성한 후 이를 비교연구하였다.

본 연구의 목적은 정상인의 측두하악관절을 대상으로 전산화단층사진을 촬영하고 전산화단층촬영장치에 내장된 삼차원 재구성 프로그램과 컴퓨터 영상 분석장치를 이용하여 측두하악관절을 삼차원 재구성한 후 이를 비교 분석함으로써 측두하악관절의 공간적 위치관계를 보다 명확히 평가하고 악관절장애의 진단시 도움을 주고자 하는 데 있다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 악관절장애의 병력과 증상은 물론 중증도의 치아우식증이나 치아의 상실이 없고 보철 및 교정치료의 병력이 없으며 외상병력이 없는 25세의 남자 3인을 대상으로 하였다.

2. 연구방법

1) 전산화단층촬영

중심위, 2.5cm 개구상태, 최대개구상태에서 측두하악관절에 횡단면 시상면, 관상면 단층촬영을 시행하였다. 횡단면단층촬영은 안이평면에 평행하게 관절외에서 하악과두 경부까지 주사를 시행하였다. 전산화단층촬영장치(Siemens Somatom Hi-Q)를 이용한 촬영조건은 노출시간 2초, 관전류 120 mAs, 관전압 133 kVp, 단층두께 1mm, zoom 5를 이용하였다. 시상면단층촬영은 특수제작한 65° 경사판을 이용하였으며 갠트리(gantry)를 25° 경사지게한 후 정중시상면에 평행하게 하악과두의 외측에서부터 내측으로 주사를 시행하였다(Fig 1. 참고). 관상면단층촬영은



Fig 1. Patient positioning for direct sagittal scanning of TMJ

안이평면에 수직으로 시행하였다. 시상면단층촬영 및 관상면단층촬영의 촬영조건은 노출시간 2초, 관전류 225 mAs, 관전압 133 kVp, 단층두께 1mm, zoom 5이었다.

2) 전산화단층사진의 삼차원재구성

① 전산화단층장치

전산화단층상을 loading한 후 삼차원재구성 프로그램 (SOMARIS 3-D)의 대화형모드(interactive mode)에서 역치(경조직 +175)를 설정하여 외형을 선택하였다. 관절원판을 삼차원재구성할 때는 관심영역(ROI)을 정한 후 역치(+45)를 설정하였다.

② 컴퓨터영상분석장치

사용된 컴퓨터는 IBM-PC/16 bit, AT 호환기종 (CPU 80286, RAM 4MB)으로서 영상분석프로그램은 VIDAS 2.0(KONTRON사)을 이용하였고 내부확장보드는 EGA보드와 256 단계의 회색조(gray scale)를 지원하는 화면잡기보드(Frame grabber video board)를 이용하였다(Fig 2. 참고). 관찰대, 전산화단층상, 비디오사진기의 위치를 고정시키고 전산화단층상을 비디오카메라로 입력시켰다. 디지털 신호로 변환된 비디오 영상은 black(gray value 0), white(gray value 255)와 254 개의 gray 단계로 계수화되며 육안으로 역치를 설정하여 이원화시킨 후 이 외형 정보를 개개의 화일(262,272 byte)로 보조기억장치(hard disk)에 저장하였다. 삼차원으로 구성하기 위해 각각의 주사면에 대해 단층촬영상에 표시된 자

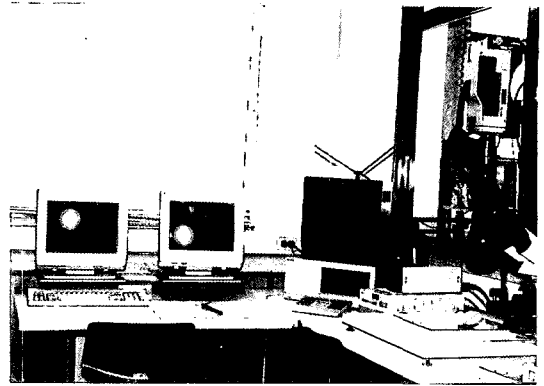


Fig 2. Computer image analysis system

를 기준으로 눈금조정(calibration)을 하고 단층 두께의 폭을 부여하면서 순차적으로 입력하였다. 평행투상법(parallel projection)을 이용한 삼차원 구성상에 대하여 영상루프(video loop) 혹은 정지 상태에서 회전, 절단, 관절을 분리시켜 특정 영상을 선택한 후 원근감을 부여하기 위해 RGB모드에서 광도변환기능(intensity transformation function)을 이용하였다.

Ⅲ. 연구 성적

1) 전산화단층사진

각 전산화단층상에서 측두하악관절은 색조준위(window level) 262-331, 색조폭(window width) 974-1186에서 피질골의 외형 및 내부 골 구조가 가장 잘 관찰되었다.

횡단면 주사상(axial scan)에서는 관절원판의 관찰은 어려웠으며, 시상면 주사상(sagittal scan)에서 폐구시 색조준위 73, 색조폭 318에서 관절원판이 가장 잘 관찰되었다. 그러나 시상면 주사상에서도 개구시에는 관절원판의 관찰이 어려웠다(Fig 3. 참고).

관상면 주사상(coronal scan)에서는 폐구시 색조준위 68, 색조폭 372에서 관절원판이 가장 잘 관찰되었으며 2.5cm 개구시에는 색조준위 66, 색조폭 268에서 관절원판이 가장 잘 관찰되었다(Fig 4. 참고).

2) 전산화단층촬영장치 및 컴퓨터영상분석장치

를 이용한 삼차원재구성 사진

횡단면 주사상에서 전산화단층촬영장치 및 컴퓨터영상분석장치를 이용한 측두하악관절의 삼차원재구성상은 인접 골조직의 중첩에 의해 관절강의 관찰이 어려웠다. 전산화단층촬영장치의 상은 비교적 외형이 부드러웠으나 컴퓨터 영상분석장치의 상은 가장자리에 계단상이 관찰되었다. 한편 컴퓨터영상분석장치를 이용한 상의 대조도가 전산화단층촬영장치상의 대조도보다 높아 원근감이 잘 표현되었다(Fig 5. 참고).

시상면 및 관상면에서의 삼차원재구성상은 외형에 큰 차이가 없었으며 컴퓨터영상분석장치를 이용한 상의 대조도가 높아 원근감이 비교적 잘 표현되었다.

폐구시 시상면 및 관상면에서의 전산화단층촬영장치 및 컴퓨터영상분석장치를 이용한 관절원판의 삼차원재구성상에서는 관절원판의 관찰이 어려웠고 2.5cm 개구시 관상면에서의 삼차원재구성상은 관절원판의 위치는 관찰되었으나 그 형태는 불분명하였다(Fig 7. 참고).

3) 전산화단층장치 및 컴퓨터영상분석장치를 이용한 삼차원재구성 절단면상

전산화단층촬영장치 및 컴퓨터영상분석장치를 이용한 측두하악관절의 삼차원재구성 절단면상에서는 모두 관절강의 관찰이 가능하였다. 전산화단층촬영장치를 이용한 상의 외형이 비교적 부드러웠으나 컴퓨터영상분석장치를 이용한 상의 가장자리에는 계단상이 나타났다. 한편 컴퓨터영상분석장치를 이용한 상은 대조도가 높아 원근감이 잘 표현되었다(Fig 6. 참고).

IV. 총괄 및 고안

디지털영상(digital imaging)의 표본으로서 전산화단층촬영법은 약 0.5% 이상의 흑화도 차이에 대한 해상력을 지니고 있어 경조직 및 연조직의 관찰에 유용하다¹²⁾. 전산화단층상의 데이터는 3차원 matrix인 voxel(volume element)로서 선감약계수가 회색조(gray scale)로 전환된 후 이차원 matrix로 배열된다²³⁾. voxel의 길이는 단층의 두께이며 길이와 폭은 화소(pixel)의 크기로

서 이는 주사직경(scan circle diameter)과 주사matrix로 결정된다. 단층의 두께에 비하여 화소의 크기는 매우 작으므로 주사면에 평행인 단면은 수직인 면보다 작은 영역에서 감약계수를 갖게되어 해상력이 더욱 좋다. 이에 주사면 이외의 면에서 재구성된 이차원상은 해상력이 감소된다³⁶⁾. 평행육면체(parallelepiped)인 voxel에 의한 해상력의 차이는 재구성시 제한 요소로서 보간법(interpolation)을 시행한다^{33,41)}. Smith 등⁴⁶⁾은 matrix의 크기를 감소시키면서 화소의 크기를 약간 증가시키는 방법도 같이 이용하였다.

한편 Magid^{25,26)}, Maravilla³¹⁾ 등은 횡단면 주사시 부분용적효과(partial volume effect)에 의해 관찰이 어려운 작은 병소를 이차원재구성하면 관찰이 용이하다고 하였으며 Fishman 등⁸⁾은 고관절에 금속을 식립한 후 평가시 횡단면 상에서 보인 artifact의 영향이 이차원재구성 시에는 적다고 보고하였다.

이차원 영상은 해부학적 구조물의 상세한 정보를 제공하지만 전체적인 형태 및 공간적 위치 관계에 관한 정보를 직접 전달하는데에는 한계가 있다. 이에 삼차원 상에 대한 관심이 증가되었으며 컴퓨터그래픽기술(computer graphic technique)과 디지털 영상(digital imaging)의 발달은 3차원재구성과 표현 기술(display technique)에 기여하여 진단 및 환자관리를 용이하게 하였다^{5,12,32)}.

삼차원재구성은 단면상의 수치화된 데이터를 이용한다. 전산화단층촬영장치의 삼차원재구성은 선감약계수를 갖는 본래의 삼차원 데이터matrix를 이용 재배열하며 컴퓨터영상분석장치의 삼차원재구성은 아날로그 영상 정보를 디지털 형(format)으로 변형시키는 사진조작(photographic manipulation)이 요구된다. 라이트펜(light pen)이나 커서(cursor)를 이용하는 tracing photographic prints와 전사기(camera lucida)를 이용하여 데이터 판(data tablet)에서 투사(tracing)하는 방법이 있다³⁴⁾. 방사선 사진의 디지털변환(digitization)은 영상을 일련의 화소로 나누어 방사선 노출 정도에 따라 각각의 화소에 회색조를 부여하며 디지털 신호로 바뀐 화소의 수는 공간해상력(spatial resolution)과 관련되

고 회색조의 수는 대조도해상력(contrast resolution)과 관련된다¹⁹⁾.

Marsh³²⁾, Pate³⁷⁾, Totty⁴⁹⁾ 등은 척추, 골반, 어깨, 안면, 고관절 등 복잡한 구조물에 대한 평가시 흑화도역치(density threshold)로써 표면경계를 이원화하고 삼차원재구성하는 표면렌더링(surface rendering)을 이용하였다. 이 때 삼차원의 윤곽을 뚜렷이 하는 심도는 회색조로 표현되며 관찰자에 가까운 물체는 흰색조, 먼 물체는 검은 색조로 나타난다. 한편 Matteson 등³³⁾은 두개안면기형의 정량분석(quantitative analysis)에서 두부규격방사선사진(cephalometric radiogram)과 전산화단층상의 삼차원재구성을 비교한 후 발육이상의 평가 및 악교정 수술 계획시 삼차원재구성의 이용을 제안하였다. Smith 등⁴⁶⁾은 사체의 슬관절에 대하여 정위고정성의 지표(stereotaxic reference marker)를 심고 전산화단층상과 자기공명영상에 대하여 삼차원재구성 후 길이 측정 결과 98-99%의 정확성을 보였고 이차원재구성상에서는 92-93%의 정확성을 보였다고 보고하였다.

Fishman^{6,7)}, Scott 등⁴⁴⁾은 물체의 경계만 보존하는 표면렌더링과 달리 볼륨렌더링(volume rendering)은 모든 구조물에 관한 정보를 나타낼수 있어 외측의 근육은 물론 화소 한개의 폭보다도 작은 혈관 및 골절선의 관찰이 가능하다고 보고하였다. Fishman 등⁵⁾은 사체의 전신을 이용하여 회색조 분류시 각 voxel내 조직에 대하여 비율할당(percentage assignment)을 하고 근육과 골조직을 동시에 관찰한 후 이 방법을 근골격계에 이용할 수 있다고 보고하였다. Ney 등³⁵⁾은 폐와 기관지의 전산화단층촬영 후 볼륨렌더링시 공기에 의한 부분용적효과를 극복하기 위해 분류시 크기를 이용하였는데 폐에서 분지부는 비교적 크기가 크므로 용이하였다. 크기가 작은 구조물은 폐의 주변부에 위치하며 강한 불투과도(high opacity)를 부여하면 큰 구조물을 가리므로(mask) 큰 구조물에 강한 불투과도, 작은 구조물에는 보다 약한 불투과도(low opacity)를 부여하였다.

Kuhlman 등²¹⁾은 어깨의 전산화단층상과 재구성상을 비교하고 이차원재구성상은 신경, 혈관

등을 명확히 나타내었고 볼륨렌더링에 의한 삼차원재구성상은 해부학적 구조물에 관한 이해를 돕는다고 하였다. Magid 등²⁶⁾은 과관절(ankle)의 골절이 있는 경우 전산화단층상과 볼륨렌더링을 이용하여 전산화단층상이 골절의 유무, 골편의 변위 정도 등 해부학적 구조물에 대한 정보를 많이 갖는 반면 삼차원재구성은 인접 구조물간의 관계 등 직접적인 정보의 전달이 가능하므로 수술 계획시 이차원상과 더불어 관찰할 것을 제안하였다.

한편 구강악안면 영역에서 Hemmy¹⁸⁾, Vannier⁵⁰⁾ 등은 선천적 이상과 안면에 외상 병력이 있는 경우 수술계획 및 평가에 표면렌더링을 시행하였으며 측두하악관절의 삼차원 상에 대한 관심도 증가되었다⁴⁾.

전산화단층촬영장치의 발달과 더불어 측두하악관절에서 악관절내장증과 관련된 관절원판의 위치 및 형태에 대한 연구가 진행되었다. 전산화단층촬영장치를 이용하여 구조물을 관찰할 때 주사면의 설정은 중요하다. 횡단면주사(axial scan)를 시행하는 경우에는 부분용적효과⁴¹⁾에 의해 인접한 구조물이 같은 voxel에 입력되지 않도록 환자 위치 및 단면의 두께를 결정해야한다. 횡단면주사시 관절강보다 단층면의 두께가 두꺼우면 하악과두, 관절와, 관절원판이 동일 voxel에 포함되어 결국 골조직과 연골조직의 평균값으로 선감약계수가 나타나 경계면의 인식이 어려우므로 단층면의 두께를 줄이거나 개구상태로 하여 관절강을 증가시킨 후 주사한다. 또한 관절면에 평행이 되지 않도록 주사방향을 선택한다⁴¹⁾. Cohen²⁾, Kuijl²³⁾, Manco²⁷⁾, Manzione^{29,30)}, Sartoris⁴²⁾, Simon⁴⁵⁾, Wayne⁵²⁾ 등은 보조기구를 이용하여 직접시상면주사(direct sagittal scanning)를 시행하였고 Kuijl²²⁾, Manco²⁷⁾, Sartoris⁴²⁾, Wayne⁵²⁾ 등은 측두하악관절의 운동, 관절원판의 관찰시 직접시상면 전산화단층상이 재구성상에 비해 골의 세부구조 및 관절강의 공간 해상력이 우수하다고 하였다. 특히 Kuijl 등²³⁾은 주사면에 팔과 어깨가 포함되지 않도록 하고 하악과두의 장축은 수직으로 위치시킬 것을 제안하였다. Roberts 등⁴¹⁾은 subcoronal section을 제안하였는데 해부학적으로 관절낭(joint capsule)이 외

측으로 뚜렷하여 관절원판의 인식이 쉬우나 주사시 뇌하수체가 포함되고 주사 범위를 결정하는 것이 어렵다. 한 편 Helms¹⁴⁾, Manco²⁷⁾, Sartoris⁴²⁾ 등은 관절염을 호소하는 경우 관절염 직전까지 개구시킨 후 주사시 관절원판의 관찰이 용이하다고 하였다. 세 방향의 주사면을 이용한 본 연구에서는 직접시상면주사와 관상면주사상에서 관절원판이 관찰되었다. 원래의 전산화단층상의 삼차원 데이터가 재구성시 이용되므로 움직임 없는 자세가 요구되며 보다 단시간 내에 주사가 가능한 전산화단층촬영장치의 이용도 바람직할 것이다³⁵⁾.

Manco²⁷⁾, Manzione³⁰⁾, Sartoris⁴²⁾ 등은 전산화단층상에서 골구조물의 평가는 물론 관절원판의 위치 판별이 용이하다고 하였으며 Cohen²⁾, Helms^{14,16)}, Kuijl²²⁾, Paz³⁸⁾ 등은 측두하악관절의 전산화단층상에서 관절원판이 관찰될 수 있는 것은 주위 조직과 구분이 되는 CT치에 의하며 관절원판의 선감약계수가 근육조직보다 약간 높다고 보고하였다. Manco²⁷⁾, Paz³⁸⁾ 등은 관절원판의 변위시 야기되는 조직의 변화⁴³⁾가 주위조직과의 방사선감쇠도 차이를 야기한다고 하였다. 그러나 Kuijl²²⁾, Paz³⁸⁾ 등은 직접시상면주사시 때로는 관절원판이 불분명하다고 하였으며 Thompson⁴⁷⁾ 등은 관절원판의 조직밀도(density)가 다양하므로 변위시 관찰되지 않는다고 하였다. 본 연구의 전산화단층상에서 관절원판의 형태는 비교적 분명하였다.

색조준위(window level) 및 색조폭(window width)은 육안으로 관찰하고자 하는 조직의 색조 범위를 선택하는 것으로서 Kuijl²²⁾, Moaddab³⁴⁾, Paz³⁸⁾, Zerhouni⁵⁴⁾ 등은 CT치는 상대적인 수치이며 전산화단층촬영 장치의 구성요소와 환자의 크기가 다양한 결과라고 보고하였다. 본 연구에서 관절원판은 색조준위 66-73, 색조폭 268-372에서 잘 관찰되었고 색조준위 262-373, 색조폭 974-1186에서는 피질골의 외형 및 세부 골구조가 잘 나타났다. 임의로 색조준위를 높이는 경우에는 골 표면에 커다란 천공(fenestration)이 형성되어 본래 얇은 골조직과의 혼돈을 야기하므로 골 표면의 병소가 의심될 때 적절한 색조준위의 설정은 중요하다.

Roberts 등⁴¹⁾은 최초로 측두하악관절에 대해 삼차원재구성 후 관절원판과 외익돌근 전방부의 인대(tendon)가 관절원판에 부착(merge)하는 부위의 CT치에 큰 차이가 없으므로 두 조직간의 경계를 명백히하는 것은 어려우며 특히 관절원판이 전내방으로 변위되어 외익돌근의 복(belly)이나 인대(tendon)에 접칠 때는 구분이 어렵다고 보고하였다. Pettigrew 등³⁹⁾은 투명도방식(transparent mode)을 이용하여 전방변위시킨 관절원판을 삼차원재구성한 후 관절원판과 외익돌근의 방사선감쇠도가 유사하고 불균등응축효과에 의하여 두조직간에 경계가 명확하지 않다고 하였으며 외익돌근과 관련된 관절원판의 이론적인 삼차원 형태를 제시하면서 관절원판의 매끄러운 외형은 정상적 구조의 특징이라고 보고하였다. Kursunoglu 등²⁴⁾은 정상인과 사체를 이용하여 폐구 및 개구 상태에서 전산화단층촬영 후 삼차원재구성상에서 관절원판 자체의 해상력은 좋지 않으므로 관절원판의 천공이 의심될 때는 약관절조영술을 시행해야 한다고 보고하였다.

본 연구에서는 측두하악관절을 구성하는 골조직에 대한 삼차원재구성은 전산화단층촬영장치와 컴퓨터영상분석장치 모두 측두하악관절의 전반적인 형태, 골구조, 관절강 및 내부구조와의 삼차원적 관계 등 하악과두와 관절와의 공간관계를 명백히 알 수 있었으나 전산화단층장치를 이용한 삼차원재구성상에서 관절원판은 형태가 불명료하였고 단지 위치만을 구분할 수 있었다. 이는 재구성시 요구되는 일련의 단층상의 부족도 원인이 되겠지만 전산화단층상의 관절원판에 대한 역치설정시 정확성이 요구되며 더 나아가 해부학적으로 연조직 및 경조직에 대한 효율적인 인지를 위해서는 복잡한 구조물의 영상분할(image segmentation)이 가능한 컴퓨터 소프트웨어의 향상이 요구된다. 한편 컴퓨터영상분석장치에서는 흑화도 역치 설정시 인접 경조직 및 연조직이 모두 포함되어 이원화가 불가능하였다. 이에 컴퓨터 영상분석장치에서는 직접투사(manual tracing)에 의한 수치변환(digitization)이 요구된다. 이 때 영상의 해상력 상실은 불가피하다. Hildebolt 등¹⁹⁾은 비디오사진기-아날로그-디지털 변환기(video camera-analog to

digital converter)와 CCD 스캐너(charge coupled device linear photodiode array slide scanner)의 디지털영상체계 (digital imaging system)를 비교하고 CCD 스캐너의 우수성을 보고 하였다.

전산화단층촬영장치의 삼차원 재구성상에 비해 컴퓨터영상분석장치의 삼차원구성상에서 보인 가장자리의 계단상은 보간법 없이 단지 눈금 조정(calibration)하고 평행투상(parallel projection)한 결과이다. 이에 반해 전산화단층촬영장치의 삼차원재구성 프로그램은 원래의 전산화단층상의 삼차원 데이터 matrix를 이용하며 보간법을 시행함으로써 외형이 부드럽게 되었다.

한편 컴퓨터영상분석장치를 이용한 삼차원구성상은 원근감 부여시 광도변환기능 (intensity transformation function)⁵³⁾을 이용하였는데 전산화단층촬영장치의 삼차원재구성상에 비하여 명암이 잘 표현되어 공간적 위치 관계의 인지가 용이하였다.

데이터 matrix가 회전할 때 화면(screen)에 나타나는 화소의 재구성에 의해 삼차원상을 회전시키면서 관찰할 수 있었고³³⁾ masking technique의 다양성에 의해 재구성 데이터 matrix는 분할이 가능하였으며 절단(dissection)시에는 관찰강을 잘 관찰할 수 있었다.

본 연구는 향후 재구성상의 기술적 진보와 더불어 정상 구조물과 병리적 구조물의 이해에 필요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 측두하악관절의 공간적 위치 관계를 보다 명확히 평가하고 악관절장애의 진단시 도움을 주고자 정상성인의 측두하악관절을 대상으로 전산화단층사진을 촬영한 후 전산화단층촬영장치와 컴퓨터영상분석장치를 이용하여 삼차원재구성상을 얻고 이를 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 측두하악관절의 골 구조와 관절원판은 삼차원전산화단층사진보다 전산화단층사진에서 더 잘 관찰되었다.

2. 관절원판은 직접시상면전산화단층사진상 및 관상면전산화단층사진에서 잘 관찰되었다.
3. 삼차원전산화단층사진상에서 관절원판의 위치는 관찰할 수 있었으나 그 형태는 불분명하였다.
4. 삼차원전산화단층사진상이 컴퓨터영상분석사진상보다 외형이 더 부드러운 반면 컴퓨터영상분석장치의 상의 원근감이 더 좋았다.
5. 삼차원재구성상에서 공간적 위치 관계를 더 잘 인지할 수 있었고 절단면 상에서 관찰강이 더 잘 관찰되었다.

REFERENCES

1. Christiansen, E. L., Thompson, J. R., Kopp, S. F. O., Hasso, A. N. and Hinshaw, D. B. : Radiographic signs of temporomandibular joint disease: An investigation utilizing X-ray computed tomography, *Dentomaxillofac. Radiol.* 14:83-92, 1985.
2. Cohen, E., Ross, S. and Gordon, R. : Computerized tomography as a guide in the diagnosis of temporomandibular joint disease, *JADA* 110:57-60, 1985.
3. Dijkgraaf, L. C., Bont, L. G. D., Otten, E. and Boering, G. : Three-dimensional visualization of the temporomandibular joint: A computerized multisectional autopsy study of disc position and configuration, *J. Oral Maxillofac. Surg.* 50:2-10, 1992.
4. Donlon, W. C., Young, P. and Vassiliadis, A. : Three-dimensional computed tomography for maxillofacial surgery: Report of Cases, *J. Oral Maxillofac. Surg.* 46:142-147, 1988.
5. Fishman, E. K., Drebin, R. A., Hruban, R. H., Ney, D. R. and Magid, D. : Three-dimensional reconstruction of the human body, *AJR* 150:1419-1420, 1988.
6. Fishman, E. K., Magid, D., Ney, D. R., Drebin, R. A. and Kuhlman, J. E. : Three-dimensional Imaging and display of musculoskeletal anatomy, *J. Comput. Assist. Tomogr.* 12:465-467, 1988.
7. Fishman, E. K., Drebin, B., Magid, D. and Scott, W. W. : Volumetric rendering techniques: Applications for three-dimensional imaging of the hip, *Radiology* 163:737-738, 1987.
8. Fishman, E. K., Magid, D., Robertson, D. D., Bröoker, A. F., Weiss, P. and Siegelman, S. S. :

- Metallic Hip Implants: CT with multiplanar reconstruction, *Radiology* 160:675-681, 1986.
9. Fjellstroem, C. and Olofsson, O. : Computed tomography of the temporomandibular joint meniscus, *J. Maxillofac. Surg.* 13:24-27, 1985.
 10. Gelfand, D. W. and Ott, D. J. : Methodologic considerations in comparing imaging methods, *AJR* 144:1117-1121, 1985.
 11. Goodenough, D., Weaver, K., Davis, D. and LaFalce, S. : Volume averaging limitations of computed tomography, *AJR* 138:313-316, 1982.
 12. Gray, J. E., Karsell, P. R., Becker, G. P. and Gehring, D., G. : Total digital radiology: Is it feasible? or desirable? *AJR* 143:1345-1349, 1984.
 13. Heffez, L., Mafee, M. F. and Langer, B. : Double-contrast arthrography of the temporomandibular joint: Role of direct sagittal CT imaging, *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 65:511-514, 1988.
 14. Helms, C. A., Katzberg, R. W., Morrish, R. and Dolwick, M. F. : Computed tomography of temporomandibular joint meniscus, *J. Oral Maxillofac. Surg.* 41:512-517, 1983.
 15. Helms, C. A., Morrish, R. B., Kircos, L. T., Katzberg, R. W., Dolwick and M. F. : Computed tomography of the meniscus of the temporomandibular joint, *Radiology* 145:719-722, 1982.
 16. Helms, C. A., Vogler, J. B., Morrish, R. B., Goldman, S. M., Capra, R. E. and Proctor, E. : Temporomandibular joint internal derangements: CT diagnosis, *Radiology* 152:459-462, 1984.
 17. Helms, C. A., Vogler, J. B. and Morrish, R. B. : Diagnosis by computed tomography of temporomandibular joint meniscus displacement, *J. Prosthet. Dent.* 51:544-547, 1984.
 18. Hemmy, D. C., David, D. J. and Herman, G. T. : Three-dimensional reconstruction of craniofacial deformity using computed tomography, *Neurosurgery* 13:534-541, 1983.
 19. Hildebolt, C. F., Vannier, M. W., Pilgram, T. K. : Quantitative evaluation of digital dental radiograph imaging systems, *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 70:661-668, 1990.
 20. Katzberg, R. W.:Temporomandibular joint imaging, *Radiology* 170:297-307, 1989.
 21. Kuhlman, J. E., Fishman, E. K., Ney, D. R. and Magid, D.:Two- and three- dimensional imaging of the painful shoulder, *Orthopaedic Review* 13: 1201-1208, 1989.
 22. Kuijl, B., Vencken, L. M., Bont, L. G. M. and Boring, G. : Temporomandibular joint direct sagittal computed tomography: Evaluation of image processing modalities, *J. Prosthet. Dent.* 64:589-595, 1990.
 23. Kuijl, B., Vencken, L. M., Bont, L. G. M. and Boring, G. : Temporomandibular joint computed tomography: Development of a direct sagittal technique, *J. Prosthet. Dent.* 64:709-715, 1990.
 24. Kursunoglu, S., Kaplan, P., Resnick, D. and Sartoris, D. J. : Three dimensional computed tomographic analysis of the normal temporomandibular joint, *J. Oral Maxillofac. Surg.* 44:257-259, 1986.
 25. Magid, D., Fishman, E. K., Scott, W. W. : Femoral head avascular necrosis: CT assessment with multiplanar reconstruction, *Radiology* 157:751-756, 1985.
 26. Magid, D., Michelson, J. D., Ney, D. R. and Fishman, E. K. : Adult ankle fractures: Comparison of plain films and interactive two- and three-dimensional CT scans, *AJR* 154:1017-1023, 1990.
 27. Manco, L. G., Messing, S. G., Busino, L. J., Fasulo, C. P., Sordill, W. C. : Internal derangements of the temporomandibular joint evaluated with direct sagittal CT: A prospective study, *Radiology* 157: 407-412, 1985.
 28. Manco, L. G. and Messing, S. G. : Splint therapy evaluation with direct sagittal computed tomography, *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 61:5-11, 1986.
 29. Manzione, J. V., Seltzer, S. E., Katzberg, R. W., Hammerschlag, S. B. and Chiango, B. F. : Direct sagittal computed tomography of temporomandibular joint, *AJR* 140:165-167, 1983.
 30. Manzione, J. V., Katzberg, R. W., Brodsky, G. L., Seltzer, S. E. and Mellins, H. Z. : Internal derangements of the temporomandibular joint: Diagnosis by direct sagittal computed tomography, *Radiology* 150:111-115, 1984.
 31. Maravilla, K. R. : Computer reconstructed sagittal and coronal computed tomography head scans: Clinical applications, *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2:189-198, 1978.
 32. Marsh, J. L. and Vannier, M. W. : Surface imaging from computerized tomographic scans, *Surgery* 94:159-165, 1983.
 33. Matteson, S. R., Bechtold, W., Phillips, C. and Staab, E. V. : A Method for three-dimensional image reformation for quantitative cephalometric analysis, *J. Oral Maxillofac. Surg.* 47:1053-1061, 1989.
 34. Moaddab, M. B., Dumas, A. L., Chavoor, A. G.,

- Neff, P. A. and Homayoun, N. : Temporomandibular joint: Computed tomographic three-dimensional reconstruction, *Am. J. Orthod.* 88:342-352, 1985.
35. Ney, D. R., Kuhlman, J. E., Hruban, R. H., Ren, H., Hutchins, G. M. and Fishman, E. K. : Three-dimensional CT-volumetric reconstruction and display of the bronchial tree, *Invest. Radiol.* 25:736-742, 1990.
 36. Osborn, A. G. and Anderson, R. E. : Direct sagittal computed tomographic scans of the face and paranasal sinuses, *Radiology* 129:81-87, 1978.
 37. Pate, D., Resnick, D., Andre, M., Sartoris, D. G., Kursunoglu, S., Bielecki, D., Dev, P. and Vassiliadis, A. : Perspective: Three-dimensional imaging of the musculoskeletal system, *AJR* 147:545-551, 1986.
 38. Paz, M. E., Katzberg, R. W., Tallents, R. H., Westesson, P., Proskin, H. M. and Murphy, W. C. : Computed tomographic evaluation of the density of the temporomandibular joint meniscus, *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 66:519-524, 1988.
 39. Pettigrew, J., Roberts, D., Riddle, R., Udupa, J., Collier, D. and Ram, C. : Identification of an anteriorly displaced meniscus in vitro by means of three-dimensional image reconstructions, *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 59:535-542, 1985.
 40. Price, C., Connell, D. G., MacKay, A. and Tobias, D. L. : Three-dimensional reconstruction of magnetic resonance images of the temporomandibular joint by I-DEAS, *Dentomaxillofac. Radiol.* 21:148-53, 1992.
 41. Roberts, D., Pettigrew, J., Udappa, J. and Ram, C. : Three-dimensional imaging and display of the temporomandibular joint, *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 58:461-474, 1984.
 42. Sartoris, D. J., Neumann, C. H., Riley, R. W. : The temporomandibular joint : True sagittal computed tomography with meniscus visualization, *Radiology* 150:250-254, 1984.
 43. Scapino, R. P. : Histopathology associated with malposition of the human temporomandibular joint disc, *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 55:382-397, 1983.
 44. Scott, W. W., Fishman, E. K. and Magid, D. : Acetabular fractures: Optimal imaging, *Radiology* 165: 537-539, 1987.
 45. Simon, D. C., Hess, M. L., Smilak, M. S. and Beltran, J. : Direct sagittal CT of the temporomandibular joint, *Radiology* 157:545, 1985.
 46. Smith, D. K., Berquist, T. H., An, K., Robb, R. A. and Chao, E. Y. S. : Validation of three-dimensional reconstructions of knee anatomy: CT vs MR imaging, *J. Comput. Assist. Tomogr.* 13:294-301, 1989.
 47. Thompson, J. R., Christiansen, E., Sauser, D., Hasso, A. N., Hinshaw, D. B. : Temporomandibular joint: High-resolution computed tomographic evaluation, *Radiology* 150:105-110, 1984.
 48. Thompson, J. R., Christiansen, E., Sauser, D., Hasso, A. N. and Hinshaw, D. B. : Dislocation of the temporomandibular joint meniscus: Contrast arthrography vs. computed tomography, *AJR* 144: 171-174, 1985.
 49. Totty, W. G. and Vannier, M. W. : Complex musculoskeletal anatomy: Analysis using three dimensional surface reconstruction, *Radiology* 150: 173-177.
 50. Vannier, M. W., Marsh, J. L., Warren, J. O. : Three dimensional CT reconstruction images for craniofacial surgical planning and evaluation, *Radiology* 150:179-184, 1984.
 51. Wallis, J. W. and Miller, T. R. : Three-dimensional display in nuclear medicine and radiology, *J. Nucl. Med.* 32:534-546, 1991.
 52. Wayne, W. S., Ward, M. F., Helms, C. A., Manzione, J. V. and Katzberg, R. W. : Computed tomography for internal derangements of the temporomandibular joint: A technical report, *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 62:459-462, 1986.
 53. Wells, W. A., Path, M. R. C., Rainer, R. O. : Basic principles of image processing, *Anatomic Pathology* 98(5):493-501, 1992.
 54. Zerhouni, E. A., Stitik, F. P. and Siegelman, S. S. : CT of the pulmonary nodule: A cooperative study, *Radiology* 160:319-327, 1986.
 55. Kim, S. H., Chung, S. S., Yoo, S. K. and Kim, W. K. : 3-dimensional computer simulation of stereotactic surgery, *Stereotactic and functional neurosurgery* 1990.
 56. 송남규, 고광준 : 전산화단층상을 이용한 안면골의 3차원재구성상의 비교 연구, *대한구강악안면방사선학회지* 22(2):283-292, 1992.

- ABSTRACT -

A COMPARATIVE STUDY OF THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTIVE IMAGES OF TEMPOROMANDIBULAR JOINT USING COMPUTED TOMOGRAM

SUK-YOUNG LIM · KWANG-JOON KOH

*Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry
Chonbuk National University*

The purpose of this study was to clarify the spatial relationship of temporomandibular joint and to an aid in the diagnosis of temporomandibular disorder. For this study, three-dimensional images of normal temporomandibular joints were reconstructed by computer image analysis system and three-dimensional reconstructive program integrated in computed tomography.

The obtained results were as follows :

1. Two-dimensional computed tomograms had the better resolution than three dimensional computed tomograms in the evaluation of bone structure and the disk of TMJ.
2. Direct sagittal computed tomograms and coronal computed tomograms had the better resolution in the evaluation of the disk of TMJ.
3. The positional relationship of the disk could be visualized, but the configuration of the disk could not be clearly visualized on three-dimensional reconstructive CT images.
4. Three-dimensional reconstructive CT images had the smoother margin than three-dimensional images reconstructed by computer image analysis system, but the images of the latter had the better perspective.
5. Three-dimensional reconstructive images had the better spatial relationship of the TMJ articulation, and the joint spaces were more clearly visualized on dissection images.

논문 사진부도 ①



Fig 3. Direct sagittal CT images: Bone level(Rt.), Soft tissue level(Lt.)



Fig 4. Coronal CT images: Closed mouth(Rt.) and 2.5cm mouth opening(Lt.)

논문 사진부도 ②



Fig 5. Three-dimensional reconstructive image (axial scan):
CT(Lt.) and Computer image analysis system(Rt.)

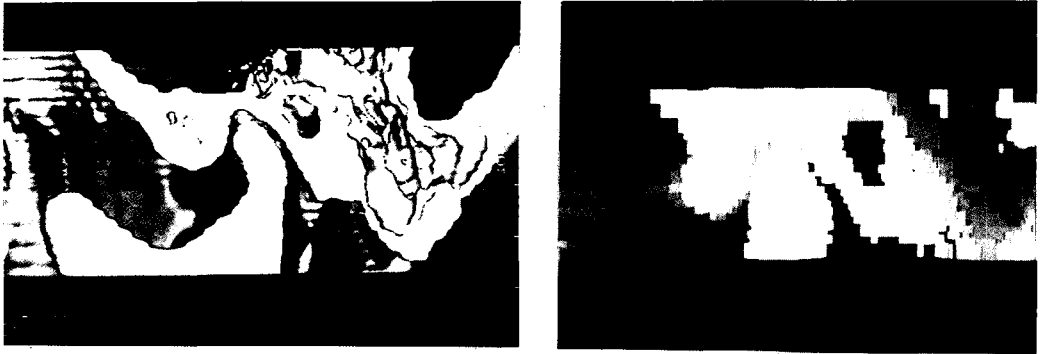


Fig 6. Three-dimensional reconstructive image (dissectional axial scan):
CT(Lt.) and Computer image analysis system(Rt.)



Fig 7. Three-dimensional reconstructive CT image