

# 교정 치료를 받지 않은 측두하악관절원반변위가 있는 여성 환자의 두부계측방사선사진을 이용한 안모 및 치열 변화 연구

한정우<sup>a</sup> · 김태우<sup>b</sup>

관절원반변위가 있는 여자 환자 중 초진 시와 일정 시간이 지난 기간 동안 교정 치료를 비롯한 교합에 변화를 줄 만한 치료를 받지 않은 여성 환자를 대상으로 두 시기의 측두하악관절원반변위 방사선 사진을 비교하여 골격 및 치성 변화를 관찰할 목적으로 시행되었다. 1996년 1월부터 2006년 12월 사이에 서울대학교 치과병원 치과교정과에 내원한 여자 환자 중 MRI를 촬영하여 관절원반변위가 있는 환자를 선별하였으며, 총 25명의 환자를 대상으로 연구를 하였다. 초진(T1) 시의 환자의 평균 연령(표준편차)은 18.1세(3.5세)이며 연령의 범위는 14.2 - 25.8세이고, 재진(T2)시 평균 연령(표준편차)은 21.1세(3.5세)이며 연령의 범위는 16.2 - 28.0세였다. 또한 평균 관찰 기간(표준편차)은 3.0년(1.9년)이었고 범위는 7개월부터 6.7년이었다. 초진(T1), 재진(T2) 시와 두 기간 사이 변화량에 대한 각 변수의 기술 통계량을 계산하였다. 이상의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다. MRI로 관절원반변위를 진단받은 환자 중 교정치료나 악관절 치료 등 교합에 변화를 줄 만한 치료를 받지 않은 환자의 약 64%에서 하악골의 골격적인 변화가 나타났다. L1 to Mandibular plane은 0.8 mm 유의성 있게 증가하였다 ( $p < 0.01$ ). 그러나 이를 제외한 나머지 치성 계속 항목인 전치돌출도, 전치피개도 및 U1 to Palatal plane (mm)의 변화는 유의성이 없었다. 변화의 방향은 주로 하악의 후하 방회전하였고, 그 비율은 FMA가 1° 증가 시 SNB는 약 0.43° 감소하는 정도였다 (Spearman's rho = -0.660,  $p < 0.01$ ). 일부 환자들은 수평적인 하악골의 후방 양상 이동을 보이기도 하였다. (대치교정지 2010;40(6):398-410)

**주요 단어:** 측두하악관절장애, 종적 연구, 치열 및 안모 변화 연구, MRI

## 서론

측두하악관절장애는 교정 치료를 받는 연령대에 서 흔한 질환이다. 많은 논문들이 교정치료와 측두 하악관절장애의 관계를 다루었다. 이를 다룬 초기 의 문헌에서 교정 치료 시 발치가 측두하악관절장애와 연관이 있다고 주장한 논문들이 있었으나,<sup>1,7</sup> 이는 주로 자료에 근거한 것이라기보다는 의견을 표시한 논문이었다. 아직도 논란의 여지가 있기는 하지만, 대부분의 논문들에서는 교정 치료가 측두

하악관절장애를 일으킨다거나 혹은 치료한다는 것을 입증할 만한 증거는 없다고 밝히고 있다.<sup>8-24</sup>

MRI는 영상을 얻기 위해 방사선을 사용하는 대신 자기장과 전자파를 이용하는 비침습적인 방법이다.<sup>25</sup> 이 방법은 동통이 없고, 위험도가 낮으며, 관절 조영술 같은 간접적인 영상과는 대조적으로 관절강 내에 조영제를 넣을 필요가 없기 때문에 연조직의 왜곡 현상이 없다.<sup>26</sup> 그리고 관절원반의 영상을 개 구 시와 폐구 시 모두 여러 단계로 얻을 수 있다. MRI를 관절조영법(arthrography) 혹은 관절경검사(arthroscopy)와 비교한 연구<sup>27</sup>를 보면, MRI가 측두하악관절을 영상화하는 가장 적절한 방법이고, 특히 연조직에서 뛰어나다는 결론을 내릴 수 있다. 다양한 연구에서, MRI는 측두하악관절 원반변위를 진단하는 가장 좋은 방법으로 인정되었다.<sup>28,29</sup>

이번 연구는 MRI를 이용하여 양측 측두하악관절 원반변위가 있다고 진단한 환자 중 초진 시와 일정 시간이 지난 기간 동안 교정 치료를 비롯한 교합에

<sup>a</sup>치의장교, 대한민국 육군.

<sup>b</sup>교수, 서울대학교 치의학대학원 치과교정과교실.

교신저자: 김태우.

서울시 종로구 연건동 28 서울대학교 치의학대학원 치과교정과교실.

02-2072-3317; e-mail, taewoo@snu.ac.kr.

원고접수일: 2010년 7월 16일 / 원고최종수정일: 2010년 10월 9일 /

원고채택일: 2010년 10월 12일.

DOI:10.4041/kjod.2010.40.6.398 / pISSN 1225-5610

변화를 줄 만한 치료를 받지 않은 환자를 대상으로 두 시기의 측모두부계측방사선사진을 비교하여 골격 및 치성 변화를 관찰할 목적으로 시행되었다.

## 연구방법

### 연구대상

1996년 1월 부터 2006년 12월 사이에 서울대학교 치과병원 치과교정과에 내원한 여자 환자 중에서 측두하악관절 MRI를 촬영한 환자 429명을 대상으로 하였다. 이들은 임상적으로 발견이 가능한 턱관절의 증상과 증후(관절낭 동통, 관절염, 저작근 동통, 개구 장애, 개구 시 편위 등)를 지닌 환자도 있었으며, 증상은 없으나 전치부 개방교합이나 안면 비대칭 등의 골격적 형태를 지닌 환자도 있었다. 이들 중 초진 시와 이후 재진 시 측모두부계측방사선사진을 촬영한 환자 중 아래 조건에 부합되는 환자들을 선별하였다.

1. 구순구개열이나 증후군과 관련한 두개안면 기형이 없는 경우.
2. 방사선 사진에서 구조물의 형태가 비교적 명확한 경우.
3. 초진 시와 재진 시 교정 치료나 턱관절 splint 등의 턱관절이나 교합, 골격 형태 등에 변화를 줄 만한 치료 치료를 받지 않은 경우.
4. 성장이 완료되었다고 판단된 환자(Hassel과 Farman<sup>30</sup>의 cervical vertebrae maturation indicators의 stage 6).
5. 측두하악관절 MRI상 양측의 측두하악관절에 관절원반변위가 관찰되는 경우(정복성, 비정복성 모두 포함).

이 기준을 통하여 25명의 환자를 선별하였다. 처음 내원한 시점(초진, T1)부터 다시 내원한 시점(재진, T2)동안 아무 치료도 받지 않은 이유는 학업을 위해 악교정 수술에 맞추어 치료 연기, 관절 및 골격의 변화를 관찰하기 위해 치료 연기, 치료 계획상 악교정 수술이 필요하여 진단 시 환자에게 이를 고지하여 환자가 치료를 거부하다가 이후 다시 치료 받기 위해 내원한 경우 등이었다. 또한 초진 자료만 채득하고 교정치료를 받지 않은 환자 중 위의 조건에 부합하는 환자를 선별하여, 환자가 연구에 참여하고자 하는 경우 recall하여 재진 자료를 채득하여 연구대상에 추가하였다. 이는 서울대학교 치과병원 연구윤리심의위원회의 승인을 거쳐 시행하였다. 초

진 시 환자의 평균 연령(표준편차)은 18.1세(3.5세), 범위는 14.2 - 25.8세였으며, 재진 시 환자의 평균 연령은 21.1세(3.5세), 범위는 16.2 - 28.0세, 평균 관찰 기간(표준편차)은 3.0년(1.9년)이고 범위는 7개월 부터 6.7년이였다.

### 연구방법

#### 측모두부계측방사선사진의 촬영 및 측두하악관절 MRI 촬영

1. 측모두부계측방사선사진의 촬영: 중심교합 상태에서 서울대학교 치과병원 구강악안면 방사선과에서 Asahi CX-90SP (Asahi Roentgen Ind. Co. Japan) 측모두부계측방사선사진을 초진(T1)과 재진(T2) 시에 촬영하였다.

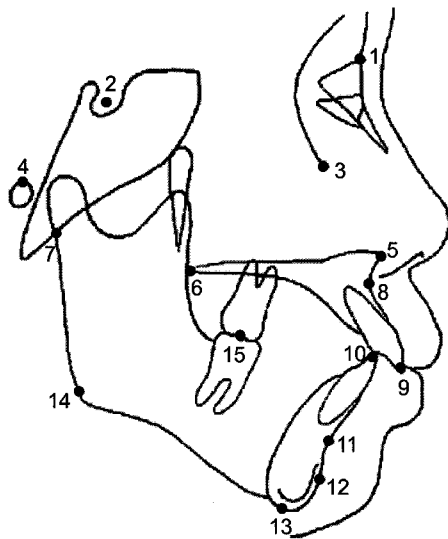
2. 측두하악관절 MRI의 촬영: 서울대학교병원 진단방사선과에서 1.5T Magnetom VisionPlus (Siemens Medical Systems, Erlangen, Germany), 1.0T Siemens Expert (Siemens Medical Systems, Erlangen, Germany), 혹은 1.5T Signa (General electric, Milwaukee, WA, USA)로 측두하악관절의 MRI 촬영을 시행하였다. 양측 폐구 상태의 sagittal section을 과두의 장축에 수직으로 찍고, coronal image를 과두의 장축에 평행하게 찍었다. 양측 개구 시의 영상은 Burnett Caliper TMJ-200 (Medrad, Pittsburgh, PA, USA)을 자발적인 최대 개구 시보다 절단연간 너비에서 10 mm 폐구시킨 후 얻었다. 모든 촬영은 Proton-enhanced 4,000 - 5,000/15 (TR ms/TE ms)와 TI-weighted 450 - 600/12 - 20 (TR ms/TE ms) pulse sequence 로 3 mm 두께, 120 혹은 150 mm 영상야, NEX 2, image matrix 168 - 256 × 256으로 촬영되었다. 이렇게 촬영된 자료를 가지고 양측 측두하악관절을 각각 정상과 관절원반변위로 나누었다.

### 투사도 작성

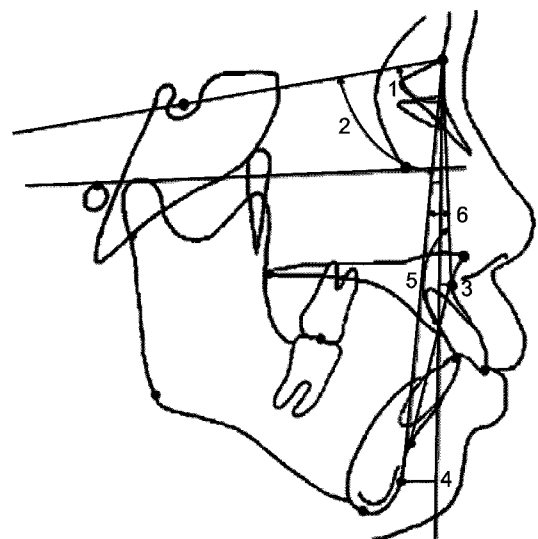
각 환자들의 초진과 재진 시의 측모두부계측방사선사진에 대하여 1명의 검사자가 cephalometric tracing film acetate (3M/Unitek, Monrovia, CA, USA)와 0.3 mm 샤프펜슬을 이용하여 투사도를 작성하였다.

### 계측 프로그램의 작성과 입력

계측을 위하여 V-Ceph (Osstem, Seoul, Korea)의 V



**Fig 1.** Hard tissue landmarks. 1, Nasion; 2, sella; 3, orbitale; 4, porion; 5, ANS; 6, PNS; 7, articulare; 8, A point; 9, incisor superius; 10, incisor inferius; 11, B point; 12, pogonion; 13, menton; 14, gonion; 15, occlusal point.



**Fig 2.** Maxillomandibular relation measurements. measurements. 1, SNA; 2, SNB; 3, N perpendicular to A point; 4, N perpendicular to pogonion; 5, facial convexity (N-A-Pog); 6, ANB.

analysis 상에서 계측 프로그램을 작성하고 INTUIS 2 graphic tablet (Wacom Technology Co., Vancouver, WA, USA)로 digitizing 하였다.

계측점 (Fig 1)

1. S: Sella. 접형골의 pituitary fossa의 중앙점
2. N: Nasion. 정중평면상의 전두비골융합의 최전방점
3. Or: Orbitale. 안와의 최하방점
4. Po: Porion. 외이도의 최상방점
5. ANS: Anterior nasal spine: 전비극. 비강저의 최전방점
6. PNS: Posterior nasal spine: 후비극. 비강저의 최후방점
7. Ar: Articulare. 하악지 후연과 측두골 기저부가 만나는 점
8. Point A: Subspinale. 상악 기저골 전연이 이루는 곡선의 최후방점
9. Is: Incisor superius. 상악 중절치 절단면
10. Ii: Incisor inferius. 하악 중절치 절단면
11. Point B: Supramentale. 하악 기저골 전연이 이루는 곡선의 최후방점
12. Pog: Pogonion. 정중평면상의 chin contour의

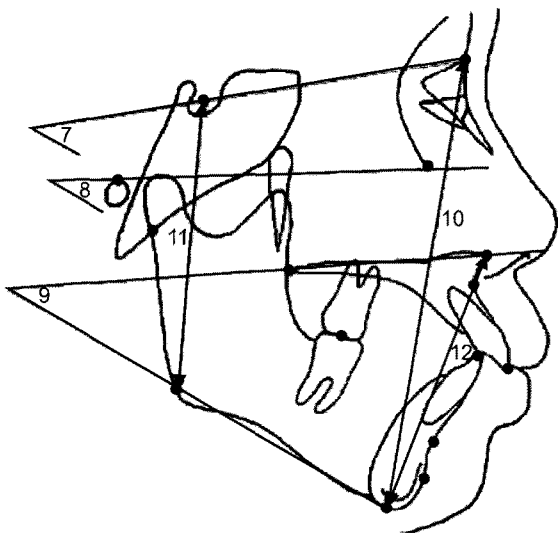
최전방점

13. Me: Menton. 하악 정중결합부의 최하방점
14. Go: Gonion. 하악 우각부의 최후하방점
15. Occlusal point: 하악 제1대구치의 근심협측구와 원심협측구 중앙에서 상악의 대합치와 접하는 점.

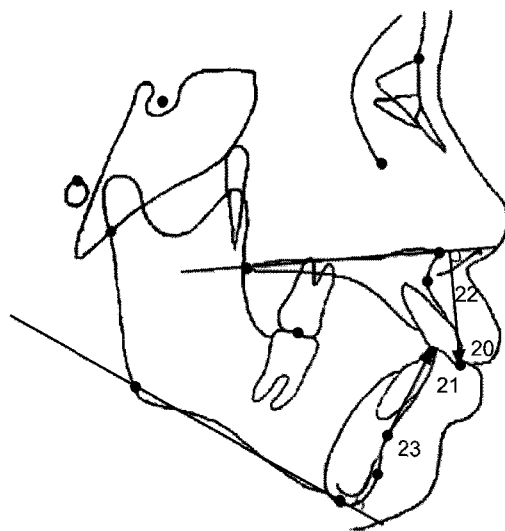
계측 항목

상, 하악골 관계 계측 항목 (Fig 2)

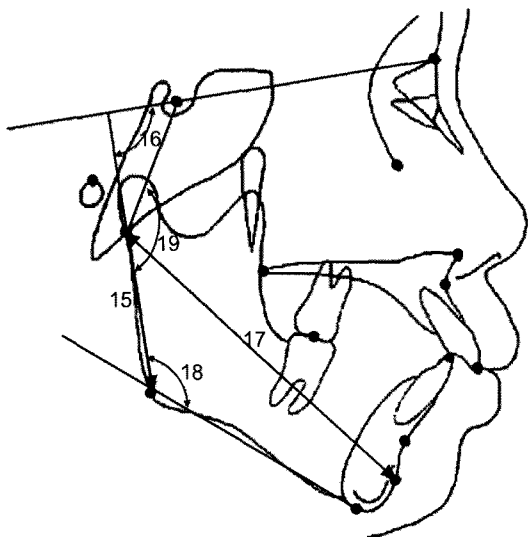
1. SNA (°): S-N-A 사이의 각도
2. SNB (°): S-N-B 사이의 각도
3. N perpendicular to point A (mm): N에서 FH plane (Po-Or)에 수직으로 그은 선과 point A 사이의 거리. Point A가 선의 좌측에 위치하면 음의 값을, 우측에 위치하면 양의 값을 가짐.
4. N perpendicular to pogonion (mm): N에서 FH plane (Po-Or)에 수직으로 그은 선과 pogonion 사이의 거리. Pogonion이 선의 좌측에 위치하면 음의 값을, 우측에 위치하면 양의 값을 가짐.
5. Facial convexity (N-A-Pog) (°): N-A-Pog 사이의 각도
6. ANB(°): A-N-B 사이의 각도



**Fig 3.** Vertical skeletal pattern measurements. 7, SN to mandibular plane; 8, FMA; 9, maxillomandibular plane angle; 10, total anterior facial height; 11, total posterior facial height; 12, lower anterior facial height.



**Fig 5.** Denture pattern measurements. 20, Overjet; 21, overbite; 22, U1 to palatal plane; 23, L1 to mandibular plane.



**Fig 4.** Mandibular form and size measurements. 15, Ramus height; 16, ramus inclination; 17, effective mandibular length; 18, gonial angle; 19, articular angle.

수직적 골격 관계 계측 항목 (Fig 3)

- 7. SN to Mandibular plane angle (°): S-N선과 Go-Me선 사이의 각도
- 8. FMA (°): Ar-Or선과 Go-Me선 사이의 각도

- 9. Maxillomandibular plane angle (°): ANS-PNS선과 Go-Me선 사이의 각도
- 10. Total anterior facial height (mm): N-Me 사이의 거리
- 11. Total posterior facial height (mm): S-Go 사이의 거리
- 12. Lower anterior facial height (mm): ANS-Me 사이의 거리
- 13. Total anterior facial height/Total posterior facial height (%): Total anterior facial height와 Total posterior facial height의 비율
- 14. Lower anterior facial height/Total anterior facial height (%): Lower anterior facial height와 Total anterior facial height의 비율

하악골의 크기와 형태 (Fig 4)

- 15. Ramus height (mm): Ar-Go 사이의 거리
- 16. Ramus inclination (°): S-N선과 Ar-Go선 사이의 각도
- 17. Effective mandibular length (mm): Ar-Pog 사이의 거리
- 18. Gonial angle (°): Ar-Go-Me 사이의 각도
- 19. Articular angle (°): S-Ar-Go 사이의 각도

치아 관계 (Fig 5)

- 20. Overjet (mm): 교합 평면에서 Ii와 Is의 수평적 거리
- 21. Overbite (mm): 교합 평면에서 Ii와 Is의 수직적 거리, Is가 Ii보다 하방에 위치할 때 양의 값을, 상방에 위치할 때 음의 값을 가짐.
- 22. U1 to Palatal plane (mm): ANS-PNS선에서 Is까지의 수직 거리
- 23. L1 to Mandibular plane (mm): Mandibular plane (Go-Me)에서 Ii까지의 수직 거리

통계

초진(T1), 재진(T2) 시와 두 기간 사이 변화량에

Table 1. Method error (n = 25)

	Error*
SNA (°)	0.28
SNB (°)	0.23
A point - N perpend (mm)	0.37
Pog-N perpend (mm)	0.43
Facial convexity (°)	0.41
ANB (°)	0.20
SN to MP (°)	0.35
FMA (°)	0.36
Maxillomandibular plane angle (PP to MP) (°)	0.46
Ant. facial height (AFH)	0.36
Post. facial height (PFH)	0.46
LAFH (mm)	0.25
Facial height ratio (%)	0.40
LAFH/AFH (%)	0.13
Ramus height (mm)	0.55
Ramus inclination (SN to GoAr) (°)	0.53
Effective Mn length (mm)	0.57
Gonial angle (°)	0.74
Articular angle (°)	0.84
OJ (mm)	0.27
OB (mm)	0.27
U1-Nasal floor (mm)	0.24
L1-Mandibular plane (mm)	0.38

LAFH, Lower anterior facial height; Mn, mandibular; OJ, overjet; OB, overbite. \*by Dahlberg's formula, errors of measurements =  $\sqrt{\sum d^2/2N}$ .

대한 각 변수의 기술 통계량을 계산하였으며, 변화량의 유의성을 검정하기 위해 paired t-test를 시행하였다. 또한 수직적 골격 관계 변화량(FMA)과 수평적 골격 관계 변화량(SNB)을 안정(FMA 변화량 1° 이하, SNB 변화량 0.5° 이하), 중등도(FMA 변화량 1 - 2°, SNB 변화량 0.5 - 1°), 뚜렷(FMA 변화량 2° 이상, SNB 변화량 1° 이상)으로 나누어 각각의 환자 비율을 구하였으며, 이 둘의 상관관계를 Spearman's rho를 이용하여 계산하였다. 통계적 유의성 판단 기준은 제1종 오류 0.05로 하였다. 통계처리에 사용된 통계패키지는 SPSS 12.0KO for windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)였다.

계측의 신뢰도 평가

이 연구에서 계측지 측정에 대한 신뢰도를 평가하기 위하여, 2주 후에 15개의 측모두부계측방사선 사진을 임의로 추출하였으며, 이 방사선사진에 대하여 동일한 검사자가 동일한 방법으로 다시 계측을 하였다. 얻어진 계측치를 이전의 계측치들과 비교하였으며, Dahlberg's formula를 이용하여 각 계측 항목들에 대한 오차의 한계를 구하였다.

$$\text{Errors of measurements} = \sqrt{\sum d^2/2N}$$

d: 계측값의 차이

N: 선택한 표본의 개수

연구성적

계측의 신뢰도 평가

Dahlberg's formula에 의하여 구한 오차는 Table 1 과 같다. 각도 계측치에 대한 오차는 0.20° - 0.84°, 선 계측치에 대한 오차는 0.24 - 0.57 mm, 비율 계측치에 대한 오차는 0.13 - 0.40였다 (Table 1).

초진(T1) 및 재진(T2)값의 기술 통계

Table 2, 3에서는 초진(T1) 및 재진(T2) 시의 각 계측값에 대한 평균, 표준편차가 나타나있다.

초진 및 재진간 계측 항목의 차이 비교

Table 4에 초진(T1) 시와 재진(T2) 시 각 계측값

**Table 2.** Cephalometric measurements at T1 (Initial stage) (n = 25)

	Mean	SD	Min	Max
SNA (°)	78.6	2.9	72.8	83.9
SNB (°)	72.6	2.9	66.7	77.2
A point - N perpend (mm)	-2.2	3.3	-8.4	3.6
Pog-N perpend (mm)	-17.0	6.4	-27.5	-5.0
Facial convexity (°)	11.8	4.6	1.0	21.7
ANB (°)	5.9	2.1	0.3	10.2
SN to MP (°)	47.0	5.3	36.3	55.8
FMA (°)	37.6	5.4	23.7	45.5
Maxillomandibular plane angle (PP to MP) (°)	36.0	5.4	26.2	46.4
Ant. facial height (AFH) (mm)	134.1	5.4	124.6	143.9
Post. facial height (PFH) (mm)	77.0	4.9	67.4	84.5
LAFH (mm)	78.4	5.0	71.1	87.9
Facial height ratio (%)	49.6	3.3	44.8	56.7
LAFH/AFH (%)	58.5	2.1	54.5	63.1
Ramus height (mm)	43.8	4.4	36.2	52.4
Ramus inclination (SN to GoAr) (°)	104.0	5.0	95.5	114.3
Effective Mn length (mm)	105.1	5.3	93.9	113.7
Gonial angle (°)	123.0	5.9	111.2	131.9
Articular angle (°)	160.6	6.4	143.9	175.3
OJ (mm)	2.7	3.1	-2.3	10.0
OB (mm)	-5.6	2.8	-11.8	0.5
U1-Nasal floor (mm)	32.7	3.0	28.8	40.4
L1-Mandibular plane (mm)	46.1	2.9	40.3	52.8

SD, Standard deviation; LAFH, lower anterior facial height; Mn, mandibular; OJ, overjet; OB, overbite.

차이의 평균, 표준편차, 최대값, 최소값 및 통계적 유의성이 나와 있다.

**상, 하악골관계 계측 항목**

SNA, SNB, Pog to N-perp., Facial convexity 및 ANB값에서 통계적으로 유의한 변화가 있었다.

SNB는 0.6° 증가, Pog to N perp.는 1.5 mm 감소, ANB 0.5° 증가 등 하악이 후방으로 이동하여 골격성 II급 경향이 심화되었다. 또한 하악의 후방이동으로 인하여 Facial convexity도 1.2° 증가하였다.

SNA는 -0.1° 변화하였으나 이는 통계적으로는 유의하나 ( $p < 0.05$ ), 임상적으로는 무시할 만한 수치이며, A point to N-perpendicular의 변화량은 통계적으로 유의성이 없었다.

**수직적 골격 관계 계측 항목**

SN to Mandibular plane angle, FMA, Maxillomandibular plane angle 모두 통계적으로 유의하게 증가하였으며(각각 1.2°, 1.2° 그리고 1.1° 증가), 하악의 시계방향 회전이 일어난 것을 확인할 수 있었다.

전안면고경(anterior facial height)은 0.8 mm 증가하였으나, 후안면고경(posterior facial height)은 0.5 mm 유의성 있게 감소하였다. 전안면 고경 중 특히 하전안면고경(facial height, ANS Me)은 1.0 mm 증가하였다.

Facial height ratio는 0.3% 감소, Lower anterior facial height/Total anterior facial height는 0.4% 증가하였다.

**Table 3.** Cephalometric measurements at T2 (follow- up) (n = 25)

	Mean	SD	Minimum	Maximum
SNA (°)	78.5	2.9	72.8	83.5
SNB (°)	72.1	3.0	66.1	76.5
A point - N perpend (mm)	-2.3	3.3	-8.8	3.3
Pog-N perpend (mm)	-18.5	6.7	-29.1	-5.0
Facial convexity (°)	13.0	4.5	1.0	21.8
ANB (°)	6.4	2.1	0.4	10.2
SN to MP (°)	48.2	5.5	36.8	56.8
FMA (°)	38.8	5.6	24.3	47.3
Maxillomandibular plane angle (PP to MP) (°)	37.1	5.5	26.0	48.2
Ant. facial height (AFH) (mm)	134.9	5.9	125.1	147.6
Post. facial height (PFH) (mm)	76.4	5.4	66.2	84.4
LAFH (mm)	79.4	5.5	71.4	92.3
Facial height ratio (%)	49.2	3.6	43.5	56.4
LAFH/AFH (%)	58.8	2.1	54.4	63.2
Ramus height (mm)	43.4	4.9	34.7	51.3
Ramus inclination (SN to GoAr) (°)	105.3	5.0	99.6	117.5
Effective Mn length (mm)	104.6	5.6	92.5	114.1
Gonial angle (°)	122.9	6.1	107.5	133.4
Articular angle (°)	162.0	6.9	147.1	179.2
OJ (mm)	2.8	2.7	-1.7	9.4
OB (mm)	-5.8	3.1	-12.7	0.4
U1-Nasal floor (mm)	33.1	3.1	29.1	41.5
L1-Mandibular plane (mm)	46.9	2.9	41.8	52.9

SD, Standard deviation; LAFH, lower anterior facial height; Mn, mandibular; OJ, overjet; OB, overbite.

**하악골의 크기와 형태**

Ramus inclination은 1.3°, Articular angle은 1.4° 유의성 있게 증가하였다.

Ramus height, Effective mandibular length 그리고 Gonial angle에는 유의성 있는 변화는 없었다.

**치아 관계**

Overjet, Overbite, U1 to Palatal plane의 변화량에는 유의성이 없었으나, L1 to Mandibular plane은 0.8 mm 유의성 있게 증가하여, 하악 전치의 정출을 확인할 수 있었다.

**변화량별 빈도**

전후방적인 관계에는 SNB를, 수직적인 관계에는 FMA를 이용하여 하악골의 전후방적 변화와 수직적 변화를 알아보았다. 변화량의 분포도 (Fig 6)와 분포표 (Table 5)는 다음과 같다.

FMA의 증가량이 1° 이하 그리고 SNB의 감소량이 0.5° 이하인 골격적으로 거의 안정된 환자는 9명 (36%)이었으며 이들 중 4명(10%)은 0.5° 이하인 범위에서 오히려 FMA값의 감소를 관찰할 수 있었다.

FMA 2° 이상 증가 혹은 SNB 1° 이상 감소를 보이는 골격적인 변화가 뚜렷한 환자는 6명(24%), FMA 1° 이상 증가하거나 SNB 0.5° 이하 감소로 골격적인 변화는 있지만, 그 정도가 비교적 심하지 않은(FMA의 증가량이 2° 혹은 SNB의 감소량이 1°를

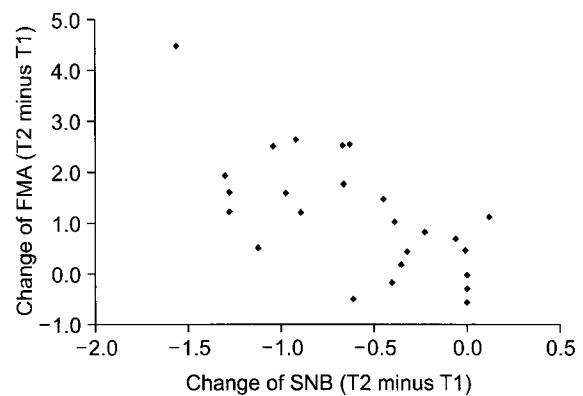
**Table 4.** Change in cephalometric measurements between T1 and T2 (T2 - T1) (n = 25)

	Mean	SD	Minimum	Maximum	p	Significance
SNA (°)	-0.1	0.3	-0.9	0.4	0.044	*
SNB (°)	-0.6	0.5	-1.6	0.1	0.000	†
A point - N perpend (mm)	-0.1	0.4	-1.0	0.8	0.373	NS
Pog-N perpend (mm)	-1.5	1.4	-5.3	0.5	0.000	†
Facial convexity (°)	1.2	1.0	0.0	3.1	0.000	†
ANB (°)	0.5	0.5	0.1	1.6	0.000	†
SN to MP (°)	1.2	1.2	-0.5	4.5	0.000	†
FMA (°)	1.2	1.2	-0.5	4.6	0.000	†
Maxillomandibular plane angle (PP to MP) (°)	1.1	1.3	-0.5	4.5	0.000	†
Ant. facial height (AFH) (mm)	0.8	1.3	-1.7	3.8	0.005	†
Post. facial height (PFH) (mm)	-0.5	1.0	-1.9	1.5	0.014	*
LAFH (mm)	1.0	1.5	-0.9	4.6	0.003	†
Facial height ratio (%)	-0.3	0.8	-2.0	1.0	0.038	*
LAFH/AFH (%)	0.4	0.6	-0.6	1.7	0.002	†
Ramus height (mm)	-0.4	1.2	-2.5	1.9	0.087	NS
Ramus inclination (SN to GoAr) (°)	1.3	1.3	-0.1	4.5	0.000	†
Effective Mn length (mm)	-0.5	1.5	-3.0	2.9	0.103	NS
Gonial angle (°)	-0.1	1.6	-3.6	4.4	0.799	NS
Articular angle (°)	1.4	1.7	-0.8	5.6	0.000	†
OJ (mm)	0.1	1.4	-2.2	2.9	0.695	NS
OB (mm)	-0.2	1.1	-2.4	2.6	0.377	NS
U1-Nasal floor (mm)	0.4	1.0	-0.9	3.0	0.083	NS
L1-Mandibular plane (mm)	0.8	0.8	-0.5	2.4	0.000	†

SD, Standard deviation; LAFH, lower anterior facial height; Mn, mandibular; OJ, overjet; OB, overbite; NS, non-significant. \*  $p < 0.05$ ; †  $p < 0.01$ .

넘지 않은) 환자는 10명(40%)이었다.

FMA의 변화량과 SNB의 변화량의 상관 관계를 계산한 결과 상관계수 Spearman's rho가  $-0.660$  ( $p < 0.01$ )으로 중등도의 음의 상관관계가 있었다. 변화량의 비율은 FMA가  $1^\circ$  증가할 때 SNB는 평균적으로 약  $0.43^\circ$  감소하는 정도였다. 하지만 일부 환자 들의 경우, FMA가 거의 변하지 않거나 오히려 감소하였는데도 SNB는  $0.5^\circ$  이상 감소하는 하악골의 수평적인 후방 이동을 보였으며, 이와 반대로 SNB는 거의 유지되면서 FMA만  $1^\circ$  이상 증가하는 경우도 있었다.



**Fig 6.** Distribution of samples according to change in FMA and SNB (T2 - T1).



**Table 5.** Distribution of samples according to change in FMA and SNB (T2 - T1)

		Decrease in SNB (T1 - T2)			Total
		0.5	0.5 - 1.0	1.0	
Increase in FMA	- 1.0	9 (36%)	2 (8%)	1 (4%)	12 (48%)
(T2 - T1)	1.0 - 2.0	4 (16%)	4 (16%)	1 (4%)	9 (36%)
	2.0 -	1 (4%)	1 (4%)	2 (8%)	4 (16%)
	Total	14 (56%)	7 (28%)	4 (16%)	25 (100%)

FMA, Frankfort mandibular angle.

**고찰**

Byun 등<sup>31</sup>은 골격적인 개교가 있는 환자의 MRI를 촬영하여 측두하악관절원반의 상태에 따라 정상, 정복성 관절원반변위, 비정복성 관절원반변위로 나누어 각 그룹 간의 두부규격계측방사선학적 비교 연구를 하였다. 그 결과 세 그룹 간 FMA, SN-Mandibular plane, SNB, ANB, APDI 등의 항목에서 유의할 만한 차이가 있었다. 또한 관절원반변위를 보이는 그룹은 FMA, SN-Mandibular plane, ANB값이 컸으며, SNB, APDI 값은 작았다. 따라서 그들은 정복성 관절원반변위가 있는 환자들은 정상의 관절원반을 가진 환자에 비해서 하악이 후하방 회전하고, 골격성 II급 경향을 보인다고 하였다. 그러나 안모의 형태와 관절원반변위의 원인과 결과 관계는 아직 명확하지 않다고 하였다.

측두하악관절장애가 있는 환자의 증상 변화를 연구한 Wänman과 Agerberg<sup>32</sup>의 논문에서 증상의 변화가 없는 경우는 60%, 개선된 사람의 경우는 20%였다. 관절 잡음이 있는 환자를 대상으로 연구한 Lundh 등<sup>33</sup>의 연구에서 3년 이상 관찰한 결과 71%에서는 변화가 없었고, 29%는 잡음이 감소하였으며, 9%는 과두결립으로 진행되었다. 증상 및 증후의 변화를 관찰한 연구에서 보통 증상이나 증후가 유지되거나 개선된 경우는 연구에 따라, 임상적 증상 및 증후에 따라 차이가 있지만 약 60%에서 99% 정도였다.<sup>34</sup>

우리는 관절원반변위가 있는 성장이 완료된 여성 환자들을 대상으로 연구하였는데, 약 36%의 환자들이 연구기간동안 뚜렷한 골격적인 변화가 없었다. 이는 이전의 증상 및 증후를 조사한 연구보다 낮은 수치이다. 이는 약간의 골격적인 변화가 있더라도 환자가 변화에 적응을 하고, 또한 치성 보상이 일어나 골격적인 변화로 인한 교합의 변화를 줄이기 때

문이라고 추론해 볼 수 있다. 이번 연구에서 심한 골격적 변화를 보인 환자(SNB 변화량 1° 이상이거나 FMA 변화량 2° 이상인 환자)의 비율은 24%였다.

초진 시와 재진 시 골격 및 치아 변화를 비교해 보았을 때, 하악의 위치와 관계된 항목(SNB, Pog to N-perp, Facial convexity, ANB, SN to Mandibular plane angle, FMA, Maxillomandibular plane angle, Ramus inclination 그리고 Articular angle)은 하악이 후하방으로 회전하는 방향으로 유의성 있게 변한 반면, 치아와 관계된 항목(Overjet, Overbite, Palatal plane to U1, Mandibular plane to L1) 중 통계적으로 유의성 있게 변한 것은 Mandibular plane to L1 뿐, 전치돌출도, 전치피개도 및 구개면에 대한 상악절단면의 위치 변화에는 유의성이 없었다.

하악 전치의 절단면은 치료기간중 하악평면에 대해 평균 0.8 mm 유의성 있게 정출하였다. 전치의 정출이 하악의 후하방 회전으로 인한 전치피개도의 감소나 전치돌출도의 증가를 어느 정도 보상하였을 것이다. 반면 상악 전치의 수직적 변화에는 유의성이 없었는데, 일부 환자들은 상악 전치가 수직적으로 정출하여 Palatal plane to U1값이 증가하였으나, 다른 환자들은 이 값이 감소하였다. 이 환자들에서 Palatal plane to U1값이 감소한 원인은 상악 전치가 함입한 것이라기보다는 치아가 순측으로 회전이동하여 오히려 전치 절단면은 수치상 Palatal plane에 가까워졌기 때문이었다.

Ahn 등<sup>35</sup>의 연구에서 MRI로 관절원반변위가 있는 여성 환자를 평균 27 - 28개월 관찰한 결과 교정 치료 전, 후의 골격 계측값에 차이가 있었다. 정복성 관절원반 변위의 경우 SNB는 1.0° 감소, SN to mandibular plane angle은 1.3° 증가하였으며, 비정복성 관절원반 변위의 경우 SNB는 0.5° 감소, SN to mandibular plane angle은 1.0° 증가하였다. 이번 연구

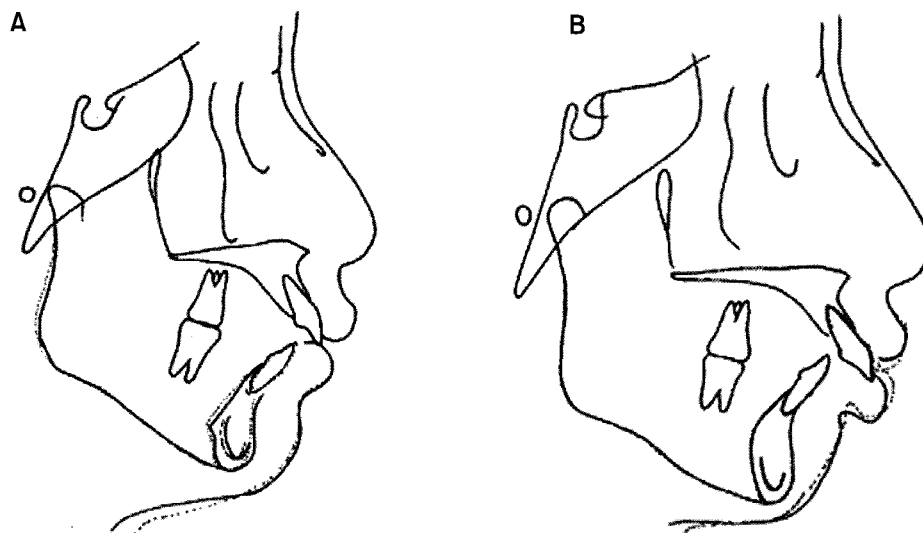
에서 평균 관찰 기간은 36개월이었으며 SNB는 평균 0.6° 감소, SN to mandibular plane angle은 1.1° 증가하여 Ahn 등<sup>35</sup>의 연구에서 정복성 관절원반변위와 비정복성 관절원반 변위의 중간 정도의 값을 보였다. 이번 연구가 정복성 관절원반변위와 비정복성 관절원반변위인 환자 모두를 대상으로 한 연구



**Fig 7.** Clockwise rotation of the mandible. Fifty-two percent of the sample showed clockwise rotation of the mandible (solid line, initial; dashed line, recall).

임을 감안하면 교정 치료를 한 환자를 관찰한 Ahn 등<sup>35</sup>의 연구와 하악골의 변화량이 크게 다르지 않음을 알 수 있다. 따라서 관절원반변위가 있는 환자에서 교정 치료를 시행한 경우 골격 변화가 발생한 원인이 교정치료가기보다는 시간의 변화에 따른 병리적 현상이라고도 볼 수 있으며, 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

1993년 Schellhas 등<sup>36</sup>은 MRI와 두부규격방사선사진을 이용하여 관절원반변위가 있는 청소년 환자의 골격 형태에 대해 연구하였다. 그들은 각 환자를 골격 형태에 따라 정상, 보상이 된 측두하악관절과 골격 변이(compensated TMJ and skeletal derangement) 및 보상이 되지 않은 측두하악관절과 골격 변이(uncompensated TMJ and skeletal derangement) 세 종류로 크게 분류하였다. 그의 분류는 종단적 연구의 결과를 단순히 형태적으로 구분한 것이었다. 이번 우리의 연구에서는 횡적인 관찰을 하여 다양한 변화양상을 설명하였다. 일단 관절원반변위가 발생하면 적응성 변화 혹은 퇴행성 변화가 하악, 측두골 그리고 저작근에 나타난다.<sup>37-42</sup> 대부분의 환자에서 치성 변화도 나타나는데, 이는 골격의 변화에 대해 편안한 교합을 유지하기 위해 치열이 변하기 때문이다. 만약 측두하악관절의 구조 및 안면골격의 변화가 느리다면, 이환된 측의 구치부가 함입되는 방향으로 적응을 한다. 반면 빠른 측두하악관절의 변화는



**Fig 8.** Skeletal and soft tissue change during observation. **A**, Distal shifting of the mandible. Twelve percent of the sample (3 cases) showed distal shifting of the mandible without clockwise rotation (solid line, initial; dashed line, recall); **B**, no or negligible dentofacial change. Thirty-six percent of the sample showed no significant changes (solid line, initial; dashed line, recall).

치성 보상을 앞서고 결과적으로 부정 교합이 발생한다.<sup>36</sup> 이번 연구에서 골격적인 변화를 보인 환자에서 변화의 양상은 하악골의 후하방 회전으로 (Fig 7), 이는 Schellhas 등<sup>36</sup>이 주장한 보상되지 않은 양상으로 진행되는 모습이다. 반면, 변화량이 많지 않은 일부 환자들 중에는 주로 후방으로만 이동한 경우도 있었다 (Fig 8). 이는 앞서 설명한 Schellhas 등<sup>36</sup>의 연구에서와 같이, 골격적인 변화가 느려서 구치부 함입 등의 치성보상이 일어난 보상된 형태와 연관성을 갖는다고 생각해 볼 수 있다. 또는 골격변화의 다양성은 연골의 흡수 방향이라든가, 하악골의 위치의 불안정성(CO-CR discrepancy)에 의해 따른 변위도 생각할 수 있다.

대부분의 교정치료에 대한 연구가 교정치료를 받은 환자를 대상으로 자료를 채득한 것임에 비해 이번 연구에는 교정치료를 받지 않은 환자를 대상으로 한 연구이다. 측두하악관절 MRI 검사를 포함하여 교정 진단자료를 채득하였으나 교정 치료는 받지 않은 환자를 대상으로 다시 환자를 recall하여 follow-up 자료를 채득하였기 때문에 10년 동안의 자료를 수집하였음에도 불구하고 많은 수의 표본을 추출하는 데에는 한계가 있었다. 여기에 성장완료된 여자 환자로 양측관절에 관절원반변위가 있는 경우만을 선택하였으므로 많은 표본을 구하지 못하였다. 향후에 더 많은 연구 표본을 바탕으로 증상이나 증후 그리고 초진 시 골격 양상 및 MRI에서 관절원반 상태 등으로 표본을 나누어 골격 변화의 방향이나 양을 가늠해 볼 수 있는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각한다.

## 결론

이번 연구는 MRI 촬영 결과 측두하악관절의 관절원반변위가 있는 환자에서 교정치료 등의 교합에 변화를 줄 가능성이 있는 치료를 받지 않은 환자를 일정 기간을 두고 측모두부계측방사선사진을 촬영하여 두 기간 사이의 골격적 및 치열 변화를 연구하였다. 관찰기간동안 하악의 변화와 관계된 골격적 계측 항목(SNB, Pog to N-perp., Facial convexity, ANB, SN to Mandibular plane angle, FMA, Maxillo-mandibular plane angle, Ramus inclination 그리고 Articular angle)에서 유의성 있는 변화가 있었다. 그러나 L1 to Mandibular plane (mm)을 제외한 나머지 치성 계측 항목인 전치돌출도, 전치피개도 및 U1 to Palatal plane은 유의한 변화가 없었다.

평균 36개월의 관찰기간동안 골격적인 변화가 거의 없는 환자의 비율은 36%였고, 뚜렷한 골격 변화를 보인 환자(FMA 변화량이 2° 이상이거나 SNB 변화량이 1° 이상)의 비율은 24%였다.

변화의 방향은 주로 하악의 후하방회전이었고, 그 비율은 FMA가 1° 증가 시 SNB는 약 0.43° 감소하는 정도였다 (Spearman's rho = -0.660,  $p < 0.01$ ). 그러나 일부 환자들은 하악각의 변화량이 크지 않은 수평적인 하악골의 후방 양상 이동을 보이기도 하였다.

## 참고문헌

1. Bowbeer GR. Saving the face and the TMJ. *Funct Orthod* 1985;2:32-44.
2. Witzig JW, Yerkes IM. Researchers question dogma of protruded maxilla: findings hint of improper orthodontic treatment. *Dentist* 1988;66:23-49.
3. Witzig JW, Yerkes IM. Functional jaw orthopedics: mastering more than technique. In: Gelb H editor. *Clinical management of head, neck and TMJ pain and dysfunction: a multidisciplinary approach to diagnosis and treatment*. 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders; 1985. p. 598-618.
4. Broadbent JM. Second molar removal, third molar replacement. *Funct Orthod* 1986;3:37-9.
5. Spahl TJ, Witzig JW. The clinical management of basic maxillofacial orthopedic appliances. Littleton (MA): PSG Publishing; 1987.
6. Spahl TJ. Problems faced by fixed & functional schools of thought in pursuit of orthodontic excellence. *Funct Orthod* 1988;5:28-31, 33-4.
7. Covey EJ. Functional forum: the effects of bicuspid extraction orthodontics on TMJ dysfunction. *Funct Orthod* 1990;7:1-2.
8. Sadowsky C, Begole EA. Long-term status of temporomandibular joint function and functional occlusion after orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1980;78:201-12.
9. Sadowsky C, Polson AM. Temporomandibular disorders and functional occlusion after orthodontic treatment: results of two long-term studies. *Am J Orthod* 1984;86:386-90.
10. Pancherz H. The Herbst appliance-its biologic effects and clinical use. *Am J Orthod* 1985;87:1-20.
11. Dibbets JM, van der Weele LT. Orthodontic treatment in relation to symptoms attributed to dysfunction of the temporomandibular joint. A 10-year report of the University of Groningen study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;91:193-9.
12. Dahl BL, Krogstad BS, Ogaard B, Eckersberg T. Signs and symptoms of craniomandibular disorders in two groups of 19-year-old individuals, one treated orthodontically and the other not. *Acta Odontol Scand* 1988;46:89-93.
13. Smith A, Freer TJ. Post-orthodontic occlusal function. *Aust Dent J* 1989;34:301-9.
14. Sadowsky C, Theisen TA, Sakols EI. Orthodontic treatment

- and temporomandibular joint sounds-a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;99:441-7.
15. Dibbets JM, van der Weele LT. Extraction, orthodontic treatment, and craniomandibular dysfunction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;99:210-9.
  16. Kundlinger KK, Austin BP, Christensen LV, Donegan SJ, Ferguson DJ. An evaluation of temporomandibular joints and jaw muscles after orthodontic treatment involving premolar extractions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;100:110-5.
  17. Luecke PE 3rd, Johnston LE Jr. The effect of maxillary first premolar extraction and incisor retraction on mandibular position: testing the central dogma of "functional orthodontics". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:4-12.
  18. Artun J, Hollender LG, Truelove EL. Relationship between orthodontic treatment, condylar position, and internal derangement in the temporomandibular joint. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:48-53.
  19. Kremenak CR, Kinser DD, Harman HA, Menard CC, Jakobsen JR. Orthodontic risk factors for temporomandibular disorders (TMD). I: Premolar extractions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:13-20.
  20. Kremenak CR, Kinser DD, Meicher TJ, Wright GR, Harrison SD, Ziaja RR, et al. Orthodontics as a risk factor for temporomandibular disorders (TMD). II. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:21-7.
  21. Rendell JK, Norton LA, Gay T. Orthodontic treatment and temporomandibular joint disorders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:84-7.
  22. Hirata RH, Heft MW, Hernandez B, King GJ. Longitudinal study of signs of temporomandibular disorders (TMD) in orthodontically treated and nontreated groups. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:35-40.
  23. Wadhwa L, Utreja A, Tewari A. A study of clinical signs and symptoms of temporomandibular dysfunction in subjects with normal occlusion, untreated, and treated malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:54-61.
  24. O'Reilly MT, Rinchuse DJ, Close J. Class II elastics and extractions and temporomandibular disorders: a longitudinal prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:459-63.
  25. Brooks SL, Brand JW, Gibbs SJ, Hollender L, Lurie AG, Omnell KA, et al. Imaging of the temporomandibular joint: a position paper of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1997;83:609-18.
  26. Cirbus MT, Smilack MS, Beltran J, Simon DC. Magnetic resonance imaging in confirming internal derangement of the temporomandibular joint. *J Prosthet Dent* 1987;57:488-94.
  27. Rao VM, Farole A, Karasick D. Temporomandibular joint dysfunction: correlation of MR imaging, arthrography, and arthroscopy. *Radiology* 1990;174:663-7.
  28. Uşümez S, Oz F, Güray E. Comparison of clinical and magnetic resonance imaging diagnoses in patients with TMD history. *J Oral Rehabil* 2004;31:52-6.
  29. Ahn SJ, Kim TW, Lee DY, Nahm DS. Evaluation of internal derangement of the temporomandibular joint by panoramic radiographs compared with magnetic resonance imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:479-85.
  30. Hassel B, Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;107:58-66.
  31. Byun ES, Ahn SJ, Kim TW. Relationship between internal derangement of the temporomandibular joint and dentofacial morphology in women with anterior open bite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:87-95.
  32. Wänman A, Agerberg G. Two-year longitudinal study of signs of mandibular dysfunction in adolescents. *Acta Odontol Scand* 1986;44:333-42.
  33. Lundh H, Westesson PL, Kopp S. A three-year follow-up of patients with reciprocal temporomandibular joint clicking. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1987;63:530-3.
  34. Greene CS, Laskin DM. Long-term status of TMJ clicking in patients with myofascial pain and dysfunction. *J Am Dent Assoc* 1988;117:461-5.
  35. Ahn SJ, Lee SJ, Kim TW. Orthodontic effects on dentofacial morphology in women with bilateral TMJ disk displacement. *Angle Orthod* 2007;77:288-95.
  36. Schellhas KP, Pollei SR, Wilkes CH. Pediatric internal derangements of the temporomandibular joint: effect on facial development. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;104:51-9.
  37. Wilkes CH. Internal derangements of the temporomandibular joint. Pathological variations. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1989;115:469-77.
  38. Katzberg RW, Keith DA, Guralnick WC, Manzione JV Jr, Ten Eick WR. Internal derangements and arthritis of the temporomandibular joint. *Radiology* 1983;146:107-12.
  39. Schellhas KP, Wilkes CH, Fritts HM, Omlie MR, Lagrotteria LB. MR of osteochondritis dissecans and avascular necrosis of the mandibular condyle. *AJR Am J Roentgenol* 1989;152:551-60.
  40. Schellhas KP, Wilkes CH. Temporomandibular joint inflammation: comparison of MR fast scanning with T1- and T2-weighted imaging techniques. *AJR Am J Roentgenol* 1989;153:93-8.
  41. Schellhas KP. Internal derangement of the temporomandibular joint: radiologic staging with clinical, surgical and pathologic correlation. *Magn Reson Imaging* 1989;7:495-515.
  42. Schellhas KP, Piper MA, Omlie MR. Facial skeleton remodeling due to temporomandibular joint degeneration: an imaging study of 100 patients. *AJNR Am J Neuroradiol* 1990;11:541-51.

## Dentofacial changes of non-orthodontically treated female patients with TMJ disk displacement: a longitudinal cephalometric study

Jung-Woo Han, DDS, MSD,<sup>a</sup> Tae-Woo Kim, DDS, MSD, PhD<sup>b</sup>

**Objective:** The purpose of this study was to investigate the changes in dentofacial morphology of non-orthodontically treated female patients with TMJ disk displacement. **Methods:** The sample consisted of 25 Korean female patients with bilateral TMJ disk displacement who visited the Department of Orthodontics, Seoul National University Dental Hospital from 1996 to 2006. Disk displacements were diagnosed using the magnetic resonance imaging (MRI) of both TMJs. Baseline (T1) and follow-up (T2) lateral cephalograms were analyzed. The mean age of samples at T1 was  $18.1 \pm 3.5$  years (range 14.2 - 25.8 years) and at T2,  $21.1 \pm 3.5$  years (range 16.2 - 28.0 years). The mean observation period was  $3.0 \pm 1.9$  years. Descriptive statistics for each variable were calculated at baseline (T1) and follow-up (T2) stages, and during the observation period (T2-T1). **Results:** Skeletal changes were found in 64% of the non-orthodontically treated female patients with TMJ disk displacement during the observation period. The L1 to Mandibular plane distance (mm) increased significantly by 0.8 mm ( $p < 0.01$ ). But there were no significant differences in the other dental relationship variables (overjet, overbite, U1 to palatal plane) during the observation period. Most patients with skeletal changes showed a backward rotation of the mandible. The ratio of the rotation was a decrease of SNB by  $0.43^\circ$  for every  $1^\circ$  increase of FMA (Spearman rho =  $-0.660$ ,  $p < 0.01$ ). A few patients showed a distal shift of the mandible without rotation or significant changes in the vertical dimension. **Conclusions:** During observation periods without orthodontic treatment, non-growing patients with TMJ disk displacement showed dentoskeletal changes, mainly backward rotation of the mandible. (*Korean J Orthod* 2010;40(6):398-410)

**Key words:** Temporomandibular disorder, Longitudinal study, Dentofacial change, MRI

<sup>a</sup>Dental Officer, ROK Army.

<sup>b</sup>Professor, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Seoul National University.

Corresponding author: Tae-Woo Kim.

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Seoul National University, 28 Yeongeon-dong, Jongno-gu, Seoul 110-744, Korea.

+82 2 2072 3317; e-mail, taewoo@snu.ac.kr.

Received July 16, 2010; Last Revision October 9, 2010; Accepted October 12, 2010.