

측두하악 장애환자의 하악 운동 Simulation에 관한 연구

조선대학교 치과대학 보철학교실

박상윤 · 강동완 · 계기성

I. 서 론

복잡한 생물학적 현상을 해석하는 방법으로 해부학 및 생리학 지식과 역학적 이론으로 현상의 본질을 모델화하여 분석하는 생체역학(biomechanics)은 생명체에 관련되는 역학을 다루는 학문으로서 최근에 골근 신경, 순환기, 호흡기, 감각, 비뇨기 계통, 생명공학 및 관절부의 역할을 분석하는 데 이용되고 있다^{2,3,14,31}).

특히 인체 생리학 분야에서 관절부의 구조와 기능간의 상관관계를 이해하고자, 기능을 지배하는 요인들의 연구가 주로 역학적으로 시행되고 연조직, 경골 및 연골의 점탄성적 모델, 근육 수축에 대한 미세 및 거시적 역학적 모델을 위해 수학 및 역학에 근거를 둔 생체역학을 이용하고 있으며 최근에는 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션이 행해지고 있다^{3,13,32,37}).

관절부의 운동 양상에 대한 생체 역학적 지식은 티타늄 및 세라믹을 관절부의 대체 재료로 이용하는 경우, 운동 역학에 따른 최적 설계를 위해 이용되며 산업 공학적으로 로봇트 관절 제작시 운동 분석 시에도 이용되고 있다⁹).

인체 관절의 하나인 측두하악 관절은 인체의 타관절과는 달리 양측성으로 연결된 강체 관절로써 이 관절의 운동에 따른 하악골 운동은 회전 및 활주 운동의 복합으로 인식되고 있으며^{28,35} 최근 측두하악 관절의 인공적 대체와 측두하악 장애에 따른 하악 운동 장애가 증가함에 따라 정상적인 하악 운동에 대한 생체 공학적 분석이 요구되고 있다.

관절 운동의 연구 방법으로는 슬관절과 고관절의 경우, 관절 원판과 과두의 생체 역학 분석을 위해

순간 회전 중심을 결정, 분석하고 있으나^{4,8,12,16,19,23,33}, 측두하악 관절의 경우, 순간 회전 중심을 이용한 생체 역학적 분석의 경우는 미비하였다^{22,40}).

순간 회전 중심을 결정하는 방법으로써 정형외과 분야에서 관절부의 운동에 따라 방사선 사진을 반복 촬영한 후 얻어진 사진 상에서 결정된 해부학적 두점의 이동에 따른 각 운동선에 수직 이동분선을 그어 만나는 점을 순간 회전 중심으로 결정하는 Rouleaux법이 이용되어 왔으나¹⁶ Woltring³⁹은 planer rigid body model을 제시하였고 윤²⁾은 planer rigid body model은 전통적인 Rouleaux법에 비해 회전 중심의 표준 편차가 적어 더욱 정확하다 하였으며 강등¹⁾은 planer rigid body model에 의한 순간 회전 중심을 결정하고 하악운동을 재 구성하였는데 순간 회전 중심을 결정시 입력 데이터의 정확성을 위해서 하악의 개폐운동과 동시에 좌표를 얻을 수 있는 전자식 데이터 검출 장치의 개발이 필요하다고 보고하였다.

측두하악 관절부의 운동시 순간 회전 중심을 이차원적으로 시상면에서 분석하여 지금까지 하악 운동시 주로 연구되어 왔던 접변축(hinge axis)에 대한 문제를 제기하였던 강등¹⁾은 순간 회전 중심 발생에 따른 최소 운동점 구성이 하악 운동 장애의 진단과 치료시 예후 지표로서 이용될 수 있다 하여 정상인과 측두하악 장애군에서 이에 대한 비교 연구의 필요성을 보고 하였다.

이러한 관점에서, 측두하악 관절 및 하악골과 같은 보이지 않는 부위의 강체 운동의 파악을 위해서 치아와 같이 보이는 부위에 보조 기구를 부착하여 시각화 시킨 다음에, 이를 비디오 카메라를 이용하여 컴퓨터에 영상화 시키고 특정점의 좌표⁵⁾

를 얻은 후 프로그램 개발에 따른 순간 회전 중심 분석과 최소 운동점의 운동에 대한 해석을 필요로 하였다.

따라서 본 연구는 보다 정확한 데이터 검출을 위해 고안 제작된 기구를 치아에 부착하고 하악 운동을 시킨 후 컴퓨터 시각 시스템과 영상 이미지 분석 프로그램을 이용하여 자료를 얻은 후, 순간 회전 분석에 의한 정상인과 측두하악 장애 환자의 최소 운동점 분석과 하악 운동을 재 구성하여 다 소의 지견을 얻었기에 보고 하고 바이다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

조선대학교 치과대학 부속치과병원 구강악기능 회복실에 내원한 측두하악 장애 환자 중에서 개구 운동 장애 증상을 보이고 있는 환자 2명과 측두하악 관절 잡음을 나타내고 있는 환자 2명을 검사군으로 하여 얻어진 하악 운동의 입력 데이터와 측두하악 장애 증상이 없고 교합이 정상인 2명을 대조군으로 하여(Table 1) 얻어진 하악 운동의 입력 데이터를 연구 자료로 하여 컴퓨터 상에서 분석하였다.

2. 하악 운동상의 포착 및 데이터 검출 방법

1) 하악 운동상의 포착

대상자의 하악 운동시 발생되는 운동을 포착하기 위해 세점의 특징점이 그려진 흰색 종이가 부착된 플라스틱판을 두개골의 시상면에 평행하도록 resin open clutch에 연결하고, 이 resin open clutch를 상악 치아에 접촉되지 않도록 하악 치아의 순협면에 부착 시킨 후, 각 대상자로 하여금 하악을 최대한으로 개구

및 폐구시키는 운동을 비데오 시스템을 이용하여 녹화하였고(Fig. 1) 검사군 4의 경우 안정교합상에¹³⁾ 의한 치료(Fig. 2) 전후의 하악 개폐운동을 녹화하여



Fig. 1. Attachment of resin open clutch with three markers on plastic plate and set-up video system.

Table 1. Characteristics of control group and test group with T.M.J. disorder

subject		age	sex	sign and symptom
control	1	25	M	No
	2	24	M	No
test	1	17	M	reciprocal clicking on right T. M. J.
	2	32	F	opening clicking on right T. M. J.
	3	38	F	pain and mouth opening limitation
	4	40	F	pain and mouth opening limitation

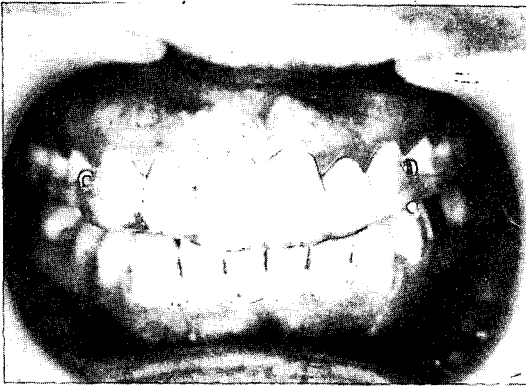


Fig. 2. Treatment of test group No. 4 by occlusal splint.

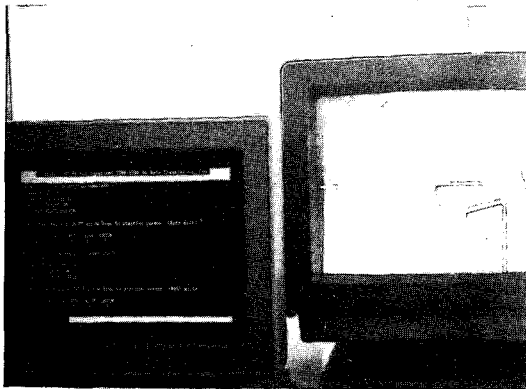


Fig. 3. Determination and processing of coordinates on image monitor screen.

자료로 이용하였다.

2) 하악 운동상의 데이터 검출

하악 운동이 녹화된 테이프에서 필요한 상의 좌표를 검출하기 위해 컴퓨터 상에서 일정시간차를 두고 순간 운동되는 운동 강체의 순간 운동을 정지시켜, 정지된 특정점의 좌표를 컴퓨터 스크린 상에서 cursor로 잡아 고정 좌표계로 설정한 후 영상 모니터 좌표계로 변환시켜 하악 운동의 입력 데이터를 검출하였다(Fig. 3).

3. 순간 회전 중심 및 최소 운동점 결정법

1) 하악골과 두개의 해부학적 좌표 결정

Resin open clutch가 부착된 대상자에게 중심 교합시의 두부 X선 사진을 촬영하여 얻어진 방사선 사진상에서 트레이싱 종이를 이용하여 세 점의 특정점과 하악 및 두개골의 해부학적 좌표를 16bit

AT Computer와 Summagraphic digitizer를 이용하여 X, Y 좌표를 결정한 후 B-spline법에 의해 하악 및 두개골의 형태를 표기하였다.

2) 하악 운동상 데이터와 방사선 사진상 좌표 데이터 결합

데이터 검출 및 데이터 변화에 따라 얻어진 데이터 좌표를 방사선 사진상에서 얻어진 세점의 특정점에 접합시켜 하악운동시 하악 치아에 부착된 resin open clutch의 운동에 따라 이동된 세점의 특정점 운동을 연속 표기하였다.

3) 순간 회전 중심결정

강동¹⁾이 구성하였던 planer rigid body model에 의한 수학적 공식을 이용하여 Fig. 4에서 $P_{C1}(X_a = \frac{X_1+X_3}{2}, Y_a = \frac{Y_1+Y_3}{2})$, $P_{C2}(X_b = \frac{X_2+X_4}{2}, Y_b = \frac{Y_2+Y_4}{2})$ 는 운동 A와 B의 좌표를 포함하고 있는 강체면에서 일정한 거리에 고정되어 있는 점이고, $P_{C1}(X_p = \frac{X_a+X_b}{2}, Y_p = \frac{Y_a+Y_b}{2})$ 도 그 평면상에 일정한 거리에 고정되어 있는 점이다. 강체가 중심 $P_C(X_c, Y_c)$ 에 대하여 회전하면 $P_{C1}(X_p, Y_p)$ 도 동일한 중심을 가지고 회전한다. 따라서 중심은 $P_{C1}(X_3, Y_3)$ 와 $P_{C2}(X_b, Y_b)$ 를 지나는 직선에 수직이고 $P_{C3}(X_p, Y_p)$ 를 지나는 선상에 있다. $P_{A1}(X_1, Y_1)$ 에서 $P_{A2}(X_2, Y_2)$ 까지 회전한 각은 $P_{C1}(X_3, Y_3)$ 에서 $P_{C2}(X_b, Y_b)$ 까지 회전한 각과 같다. 따라서 회전각 (θ) 은 현 A와 B의 직선 교각이다.

선 L_0 의 기울기를 m_1 이라 하면

$$m_1 = \frac{Y_b - Y_a}{X_b - X_a}$$

(X_p, Y_p) 를 지나고 선 L_0 에 수직인 직선의 식은

$$Y = -\frac{1}{m_1}(X - X_p) + Y_p$$

$$m = -\frac{1}{m_1} \text{ 이라 하면}$$

$$Y = m(X - X_p) + Y_p \text{ 이므로 } Y_c = \frac{m(X_c - X_p) + Y_p}{1}$$

회전각을 구하기 위해 $P_{A1}P_{B1}$ 과 $P_{A2}P_{B2}$ 의 기울기를 구하면

$$\text{slope}_1 = \frac{Y_1 - Y_3}{X_1 - X_3}$$

$$\text{slope}_2 = \frac{Y_2 - Y_4}{X_2 - X_4}$$

회전각을 θ 라 하면

$$\tan\theta = \frac{\text{slope}_2 - \text{slope}_1}{1 + \text{slope}_1 \cdot \text{slope}_2} \text{의 관계로 부터}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\text{slope}_2 - \text{slope}_1}{1 + \text{slope}_1 \cdot \text{slope}_2} \right)$$

$$L = \frac{1}{2} \sqrt{(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2}$$

$$H = L / \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

피타고라스 정리에 의해

$$(X_c - X_p)^2 + (Y_c - Y_p)^2 = h^2$$

$$(X_c - X_p)^2 + [m(X_c - X_p) + Y_p - Y_p]^2 = h^2$$

$$(X_c - X_p)^2 + m^2(X_c - X_p)^2 = h^2$$

$$(X_c - X_p)^2 \cdot (1 + m^2) = h^2$$

$$(X_c - X_p)^2 = \frac{h^2}{1 + m^2} \text{ 이므로}$$

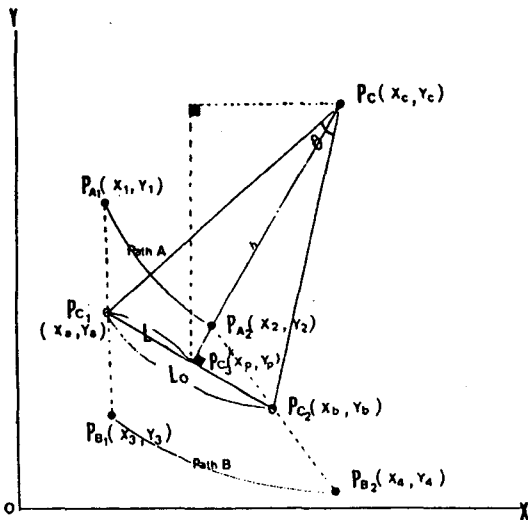


Fig. 4. Determination of instantaneous center of rotation by planer rigid body model.

$$X_c = X_p + \frac{h}{\sqrt{1+m^2}} \text{ 이다.}$$

따라서 planer rigid body model에 의해 일어난 순간회전 중심 $X_c = X_p + \frac{h}{\sqrt{1+m^2}}$, $Y_c = m(X_c - X_p) + Y_p$ 를 전산 처리하였다.

4) 최소 운동점의 결정

순간 회전 운동을 하는 모든 강체의 전체적인 순간 회전 중심이 최소 운동점이 되기 때문에 순간 회전 중심점을 가중치 없이 산술 평균 하였다.

그러나 평행인 경우 즉 반경 R이 무한대인 경우 모든 부분이 거의 동일하게 이동하므로 X_c , Y_c 의 값에 큰 영향을 미치지 때문에 회전 중심 좌표에 회전 각을 가중치로 하여 순간 회전 중심의 평균인 전체적인 최소 운동점 $X_{min} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n C_i \theta_i}$, $Y_{min} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n C_i \theta_i}$ 이다.

III. 연구성적

1. 최소 운동점의 위치

순간 회전 중심의 발생에 따른 회전 중심 좌표에 회전각을 가중치로 하여 구한 최소 운동점의 위치는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 대조군 1은 개구 및 폐구시 하악각에 근접하고 대조군 2는 하악공에 근접한 위치에서 발생되어 개구와 폐구의 경우 유사한 위치에서 발생되어 대조군은 X방향으로 0.2cm, Y방향으로 0.2cm 위치 변동하였으나 검사군은 개구와 폐구 운동시 다른 위치를 나타내(Table 2) X방향으로 평균 2.38cm, Y방향으로 평균 1.38cm 변동하여 대조군에 비해 차이를 나타냈다(Table 3).

Table 2. Position and Variation of the least moving points during opening and closing movement.

Subject		opening		closing		variation	
		X1	Y1	X2	Y2	Xv	Yv
control	1	11.6	7.2	11.8	7.2	0.2	0
	2	10.7	7.1	10.5	7.5	0.2	0.4
test	1	6.8	3.8	9.9	4.4	3.1	0.6
	2	14.0	5.8	10.3	7.0	3.7	1.2
	3	10.4	5.8	10.8	7.3	0.4	1.5
	4	12.3	6.1	10.0	8.3	2.3	2.2

$$X_v = X_2 - X_1, \quad Y_v = Y_2 - Y_1$$

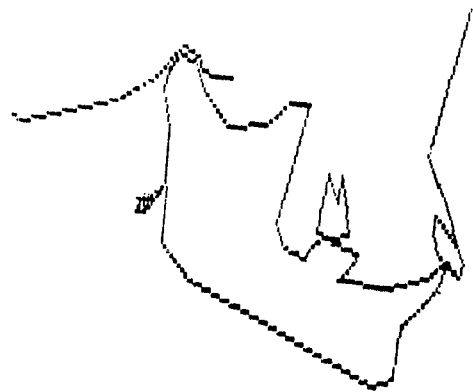
Table 3. Mean and S.D. for variation of the least moving point.

	control		test		t—value
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	
Xv	0.2	0	2.38	1.24	t=2.3440*
Yv	0.2	0	1.38	0.58	t=2.7126**

*p<0.05, **p<0.01



Opening in control group No.1



Closing in control group No.1



Opening in control group No.2

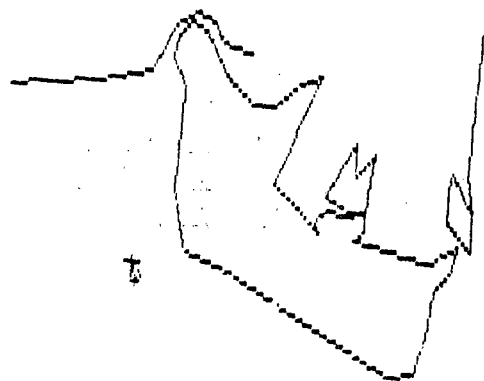


Closing in control group No.2

(a)



Opening in test group No.1



Closing in test group No.1



Opening in test group No.2



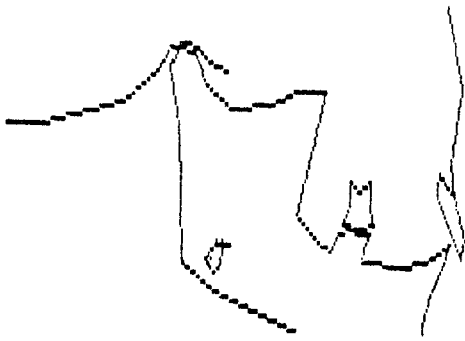
Closing in test group No.2



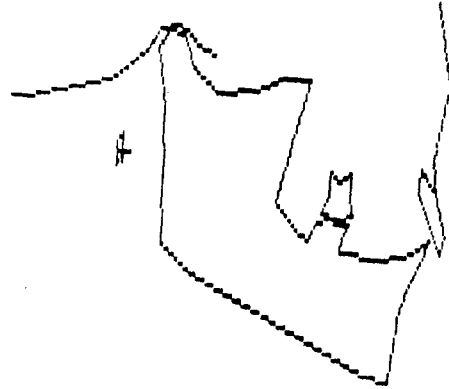
Opening in test group No.3



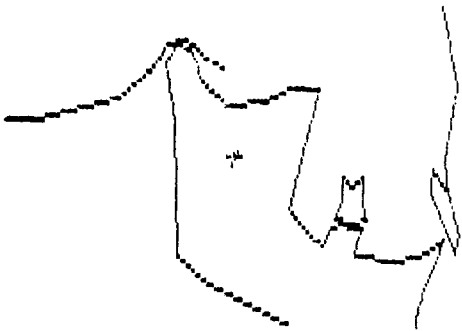
Closing in test group No.3



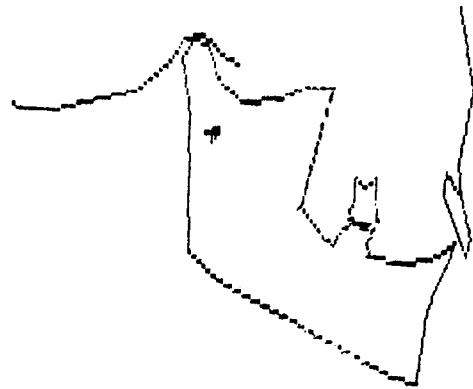
Opening in test group No. 4 (before the therapy of the occlusal splint)



Closing in test group No.4 (before the therapy of the occlusal splint)



Opening in test group No. 4 (after the therapy of the occlusal splint)



Closing in test group No. 4(after the therapy of the occlusal splint)

(b)

Fig. 5. Position and change of the least moving point for each subject.

(a) Control group

(b) Test group

2. 최소 운동점의 변동량 및 트레이싱 모양

개구와 폐구 운동시 최소 운동점의 운동량에 대한 대조군과 검사군의 비교(Table 4, Table 5)에서 보는 바와 같이 개구 운동시 운동량은 X방향으로 대조군은 평균 0.48cm, 검사군은 평균 0.35cm, Y방향으로 대조군은 평균 1.02cm, 검사군은 평균 1.22cm로 구 공간에 통계학적인 차이가 없었으나 폐구 운동시에는 X방향으로 대조군은 평균 0.49cm, 검

사군은 평균 0.24cm로 유의한 차이($p < 0.05$)가 있었다(Table 5). 최소 운동점의 변동량은 개구와 폐구시의 변화하는 X좌표와 Y좌표 값의 각각의 차이로써 대조군은 X방향으로 0.02~0.05, Y방향으로 0.07~0.10범위의 변위로 나타냈으나 검사군의 경우 X방향으로 0.05~0.03, Y방향으로 0.08~1.65범위로 나타냈다(Table 4). 개구와 폐구시 발생되는 X, Y 좌표에서 변동량에 대한 개폐구간 변동지수는 대

조군은 0.8~1.0범위를 나타냈으나 검사군은 0.56~2.6범위의 다양한 지수를 나타내 Fig. 6에서 보는 바와 같이 검사군은 대조군에 비해 하악개폐구 운동 중 최소 운동점의 이동 형태는 다양하고 복잡한

양상을 나타냈다. 검사군 4의 경우 교합상 치료에 의한 최소 운동점 변화에서 개폐구 최소 운동점 위치는 하악공에 근접하고 변동지수는 치료전 2.61에서 치료후 0.5로 작아져 개구와 폐구시 위치 변화

Table 4. Moving distance of the least moving point during opening and closing movement

subject		opening		closing		variation				
		dX1	dY1	dX2	dY2	dXv	dYv	dXrate	dYrate	index
control	1	0.63	1.07	0.68	0.97	0.05	0.10	1.08	0.91	0.8
	2	0.33	0.91	0.31	0.84	0.02	0.07	0.91	0.92	1
test	1	0.18	0.74	0.27	0.63	0.09	0.11	1.5	0.85	0.56
	2	0.23	0.89	0.1	0.77	0.13	0.11	0.43	0.87	2
	3	0.5	2.21	0.45	0.56	0.05	1.65	0.8	0.25	0.28
	4	0.47	1.04	0.17	0.96	0.30	0.08	0.36	0.92	2.06

dX or dY = moving distance of change at X-axis or Y-axis

$dXv = dX2 - dX1$, $dYv = dY2 - dY1$, $dXrate = dX2/dX1$, $dYrate = dY2/dY1$

Index = $dYrate/dXrate$

Table 5. Mean and S.D. of moving distance of the least moving point

	opening				t-value	closing				t-value
	control		test			control		test		
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		Mean	S.D.	Mean	S.D.	
dX	0.48	0.15	0.35	0.14	t=1.0529 N-S	0.49	0.18	0.24	0.13	t=1.9065 *
dY	1.02	0.06	1.22	0.58	t=0.4589 N-S	0.90	0.06	0.73	0.15	t=1.4903 N-S

* p < 0.05

Table 6. Position, variation and moving distance of the least moving point during opening and closing movement before and after splint therapy for test group No. 4.

treatment	opening		closing		variation		opening		closing		variation				
	X1	Y1	X2	Y2	Xv	Yv	dX1	dY1	dX2	dY2	dXv	dYv	dXrate	dYrate	index
before	12.3	6.1	10.0	8.3	2.3	2.2	0.47	1.04	0.17	0.96	0.30	0.08	0.36	0.92	2.61
after	12.7	8.7	11.7	9.3	1.0	0.6	0.18	0.4	0.26	0.28	0.08	0.12	1.4	0.7	0.5

dX or dY = moving distance of change at X-axis or Y-axis

$dXv = dX2 - dX1$, $dYv = dY2 - dY1$, $dXrate = dX2/dX1$, $dYrate = dY2/dY1$

index = $dYrate/dXrate$

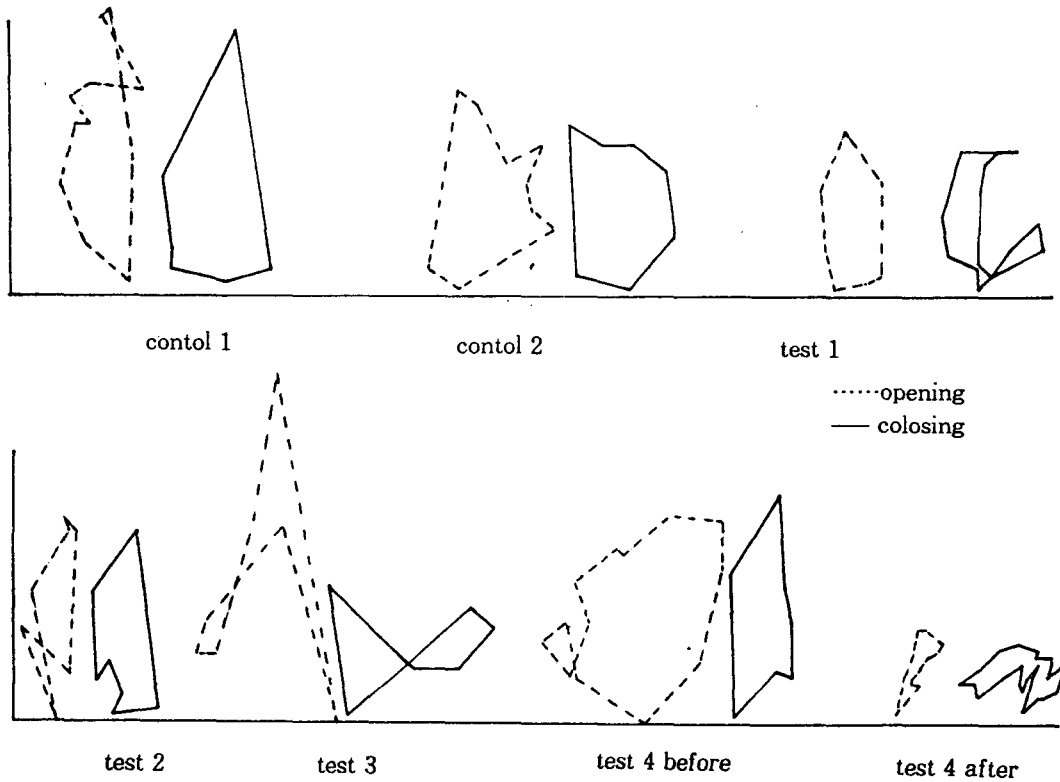


Fig. 6. Tracing shape of the lesat moving point during opening and closing movement.

및 운동량 변화가 작아진 경향을 나타냈다(Table 6).

3. 하악 운동 재구성

습관적 개구 및 폐구 운동에 의한 순간 회전 중심 결정에 따른 하악 및 하악과두의 이동 형태를 컴퓨터 그래픽에 의해 재구성하였던 바 대조군 No.2의 경우 하악공에 근접하거나 하악공을 중심으로 한 최소 운동점을 회전축으로 하여 하악과두는 개구 운동의 최초에 상방이동 및 회전 하였다가 하방으로 이동한 후 관절돌기의 후면을 따라 활주 이동되는 양상을 나타냈으며, 폐구 운동의 경우에도 유사한 위치의 최소 운동점을 회전축으로 하여 하악과두는 관절 돌기면 후상방으로 이동하였다가 최후방 폐구 근방에서 약간 하방이동한 다시 상방으로 이동하는 경향을 나타냈다.

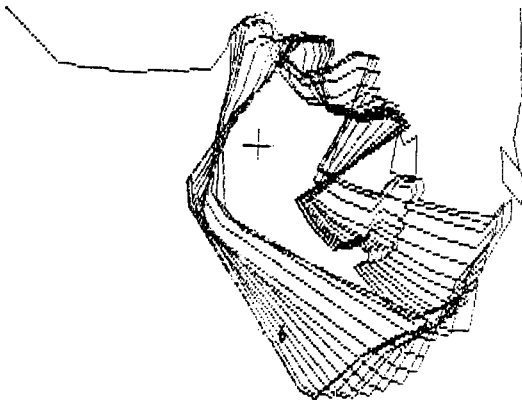
개구 장애 증상을 나타낸 검사군(No.4)의 하악 운동 재현의 경우 교합상에 의한 치료전 개구와

폐구시 각기 다른 위치의 최소 운동점을 회전축으로 하여 하악운동이 재현되었으나 교합상에 의한 치료후 개구와 폐구는 비교적 유사한 위치에서 하악공에 근접한 위치로 접근하여 운동이 재현되는 양상을 나타냈다(Fig 7).

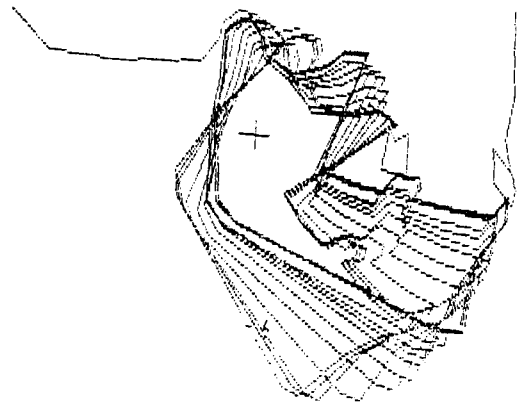
IV. 총괄 및 고안

최근 정형외과 의사들과 공학자들에 의해 인체의 개개 관절 운동이 생체 역학적으로 연구되고 있는데^{14, 16, 26, 32, 34}, 인체 운동에 대한 체계적인 연구가 레오나르도 다빈치의 “인체에 관한 노트”에서 최초로 기록된 후 복잡한 인체운동의 역학적 분석을 위해 많은 이론적이고 실험적인 연구가 계속되어 왔으며 이러한 역학의 이해를 위해서는 의학과 생물학의 기초와 응용 과학이 필요하다고 하였다.⁶⁾

일반적으로 인체의 운동에 대한 역학적 연구는 관절부에 연결된 사지의 운동을 Eulerian angle체

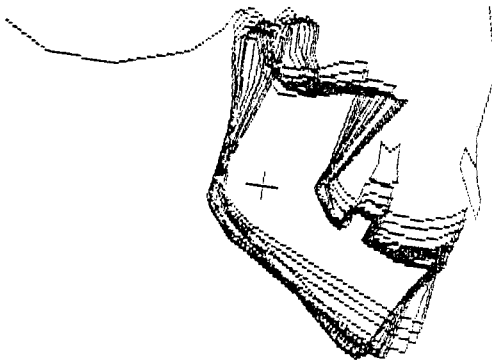


Movement simulation during opening in control group

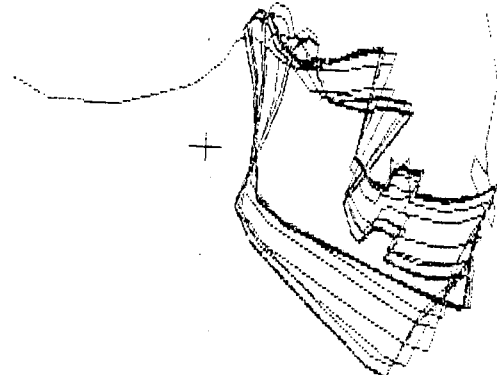


Movement simulation during closing in control group

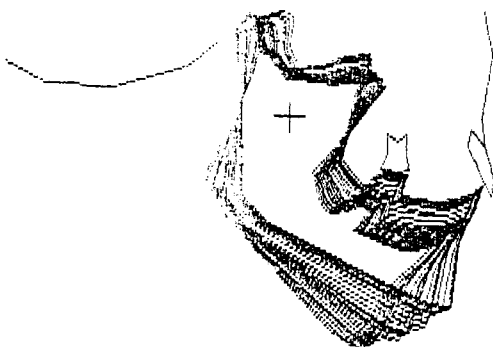
(a)



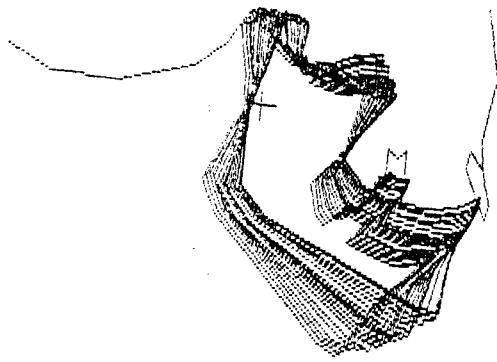
Movement simulation during opening in test group No. 4 (before the therapy of the occlusal splint)



Movement simulation during closing in test group No. 4 (before the therapy of the occlusal splint)



Movement simulation during opening in test group No. 4 (after the therapy of the occlusal splint)



Movement simulation during closing in test group No. 4 (after the therapy of the occlusal splint)

(b)

Fig. 7. Computer graphic simulation of the mandibular movement by the least moving point of instantaneous center of rotation for subjects.

(a) Control group (b) Test group

계를 이용하여 회전운동을 분석하거나, Screw 이 동축에 의한 관절면의 운동을 분석하여 회전과 활주운동의 복합성을 이해하는데 주안점을 두고 있으나⁶⁾ 인체 관절 운동학에서 근본적 문제는 관절에서 발생하는 회전과 활주의 순간적인 운동 양태를 어떠한 수학적 모델을 이용하여 생물학적으로 이해하느냐에 달려있다 하였다.⁷⁾

관절 운동을 묘사하는 하나의 보편적 방법은 순간 회전 중심 개념에 의한 것으로 1911년 Fisher¹⁵⁾가 인체 관절부의 순간 회전 중심 결정을 소개하였고, Frankel 등¹⁷⁾이 슬관절의 병리 상태를 운동학적으로 진단하기 위해 응용한 이래, 정형외과 의사와 공학자들에 의해 슬관절, 고관절 운동에 대한 역학을 이해하고 인공 정형물을 고안하는데 순간 회전 중심이 이용되어 왔다.

측두하악 관절부의 경우 하악골 운동시 접변축이 발생하여 접변축을 기준으로 교합기를 사용하여^{15, 36, 38)} 보철물을 제작하거나 모든 운동의 출발점으로써 하악 운동의 반복 재현시 기준점으로 이용되어 왔으나 Grant¹⁸⁾는 대부분의 신체 관절이 고정성 회전축 보다는 이동성 순간 회전축을 중심으로 회전한다는 것에 착안하여 하악두를 중심으로 한 고정성 회전축과 이동성 순간 회전 중심을 이용한 저작근의 생체 공학적 비교에서 순간 회전 중심이 사용될 때의 운동량이 더욱 저작근의 기능과 합치된다고 보고한 바 있다. 또한 모든 운동에 대한 해석은 크기, 속도 및 가속도 등의 여러가지 요소가 복합되어 분석되어야 하지만 기계적 장치의 재현이 어렵다 하였다.³⁹⁾ 따라서 본 연구에서는 강체의 이동을 중심으로 한 분석을 시도하였으며, 강체의 이동은 크게 활주 이동과 회전 운동으로 대별되지만 회전과 활주 운동이 복합되는 경우 무한 원점을 중심으로 한 회전 운동 만으로도 해석할 수 있기 때문에⁵⁾ 순간 회전 중심과 회전각을 구하여 운동을 분석하였다. 즉 본 연구에서 순간 회전 중심을 결정하기 위해 윤²⁾, 강¹⁾, 정⁵⁾ 등에 의해 연구되었던 planer rigid body model에 의해 순간 회전 중심과 회전각을 얻은 후 임의의 고정된 한 점을 중심으로 회전 운동을 하는 강체의 중심을 최소 운동점으로 가정하여 순간 회전 중심의 평균 회전 중심 좌표에 회전각을 가중치로 하여 최소 운동점을 구하여 순간 회전 중심에 따른 최소 운동점의 이동형태를 분

석하였다.

본 연구의 결과 Fig. 5에서 보는 보와 같이 최소 운동점의 위치는 정상인의 경우 개구 및 폐구시 공히 하악공에 근접하였으나 측두하악 장애를 지닌 경우 개폐구 시에 서로 다르거나 하악 밖에 위치하였다. 이는 하악골 운동시 회전축의 위치에 대해 Smith³⁵⁾는 상행지 중간 부위를 주장하고 Moss²⁸⁾ 등은 기계적 관점에서 두개 이상의 회전축이 동시에 작용하면 결과적인 회전축이 유발되어 악관절의 모든 회전에 대한 중심축이 하악공에 위치한다고 했으며 Frank¹⁶⁾는 하악공은 하악골의 중립적 위치로써 회전축이 이 위치에 존재한다고 보고한 바 있어 본 연구에 의해 얻은 최소운동점의 위치와 이동은 Smith³⁵⁾, Moss^{27, 28)} 및 Frank¹⁶⁾의 가상적 이론과 부합되어 하악 운동에 대한 새로운 해석을 필요로 하였다.

하악 운동시 발생하는 접변축에 대해서는 지금까지 Kinematic 접변축, 다수 접변축, 임의 접변축 및 접변축 불신자에^{17, 22)}에 이르기까지 여러 학자들에 의해 논란되어 왔고³⁸⁾ 통상적으로 접변축을 발생시키기 위해서는 술자에 의해 하악을 최후 방위로 밀면서 얻은 제한된 범위 내에서 개폐운동시켜 하악과두내 한 지점에서 종말 접변축을 얻을 수 있다고 하였다. 접변축을 선호하는 학자들은 정상인과 측두 하악 장애 환자의 접변축 재현 지수를 측정하여 접변축은 측두하악 장애 환자 진단 및 치료의 지수로 이요될 수 있다 하였고¹⁶⁾ Lupkiewicz 등²¹⁾은 순간 접변축을 통법에 의해 발생시켜 3차원적으로 얻은 screw축의 재현 여부와 불규칙성을 보고하면서 접변축의 가치를 주장하였으나 그러한 위치에서의 운동은 정상적인 저작근육과 인대등의 기능적 관계가 고려되지 않는 인위적인 운동으로 비판되고 있다. 또한 기계적 접변축 발생시 상하악에 부착되는 무거운 clutch의 이용은 정상 운동과 다른 운동을 유발할 수 있으며 대상자 자신이 가지고 있는 교합 상태에 익숙한 고유수용기전을 고려하지 않고 단지 측두하악 관절에 의해 얻어지는 인위적이고 제한된 운동임에 비해 본 연구에 이용된 clutch는 하악 치아 순축에 부착하여 치아 및 치은, 저작근, 측두하악 관절의 해부학적 위치와 습관적 기능이 고려된 고유수용기의 기전에 따른 운동을 발생시킬 수 있었으리라 사료된다.

순간 회전축을 발생시켰던 Lupkiewicz 등²¹⁾은 활주 운동 등을 제거하기 위해 노력하였지만 하악 운동시 활주 운동의 평가는 임상적으로 중요하였는데 측두하악 관절 내장의 하나인 하악과두 걸림(locking)은 관절 원판과 하악과두의 부적절한 조화에 의해 발생되기 때문에 하악 운동 장애는 활주 운동의 장애라 할 수 있다.²⁰⁾

본 연구에서는 이러한 활주운동의 중요성에 따라 정상인의 경우 회전축이 하악과두 내에 있기보다는 하악공에 근접한 위치에 존재하고 개구 및 폐구 시 유사한 위치에서 유사한 이동거리를 가질 것이라는 가설하에 본 연구를 시도했던 것으로 본 연구 Table 4와 Table 5의 결과에서 보는바와 같이 측두하악 장애 환자의 경우 대조군에 비해 X, Y 방향으로 다양한 변화와 변동량을 나타냈으며 큰 변동 지수가 발생된 것으로 미루어 보아 이러한 최소 운동점의 발생과 변동 지수의 응용은 측두하악 장애 환자의 치료 과정에서의 예후 지표로 이용될 수 있다고 사료된다.

Fig 5 및 Table 6에서 보는 바와 같이 하악 운동 장애를 나타냈던 검사군 4의 경우 교합상에 의한 치료후와 치료전의 최소 운동점 위치와 변동지수를 비교해 볼 때 치료후엔 최소 운동점의 위치가 하악공에 근접하고 변동 지수가 낮아지는 경향을 나타냈으나 순간 회전 중심의 이동에 따른 최소 운동점의 변화 모습은 대조군에서와 같이 개 폐구 시 유사한 모양과 크기를 나타내지 못했던 바 차후 다수의 측두하악 장애 환자에 적용하여 치료전과 치료후의 변화에 대한 연구가 더욱 필요라리라 사료되었다.

하악 운동 재구성의 경우(Fig. 7) 하악공을 중심으로 한 최소 운동점들 회전축으로 하여 개구 운동 초기에 하악과두 자체는 상승후 하방으로 이동되고 관절돌기를 따라 활주 이동되는 양상을 나타냈는데 이는 하악과두가 폐구시에 관절낭 인대의 긴장에 의해 관절 상방에 위치하였다가 개구 초기에 이 인대가 이완되어 수직하방 운동한다는 Page³⁰⁾와 Lundberg²⁰⁾의 주장과 일치하였고 Clapp¹⁰⁾는 그러한 위치는 근력의 기하학적인 기능에 의해 발생된다고 하였다.

활주 운동의 중요성에 대해 Wu 등⁴⁰⁾은 개구 운동의 70~86%는 활주 운동이며 osborn²⁹⁾은 관절

돌기는 활주 운동을 유발시키게 되는 해부학적 요소이며 포유동물은 악관절 중 유일하게 움직인 관절 돌기를 가지고 있는 바 관절 돌기의 영향에 따라 하악 운동시 활주 운동의 양상은 달라진다고 보고 하였고, Smith³⁵⁾ 또한 활주는 하악공에서의 회전 중심 위치를 유도하고 교근 신장량을 감소시켜 근섬유의 length-tension curve의 효율적 범위내에서 근육이 기능하도록 하여 직립 자세를 취하는 인간은 개구 중 활주가 발생됨에 따라 혀와 하악 골에 의한 식도, 기도, 인두, 경동맥초 등의 압박이 방지된다 하였다. 그러나 하악 운동은 저작근의 근신경에 의해 영향을 받기 때문에 저작 운동 분석 시에는 저작근력을 동시에 분석하는 것이 중요하다.

Mongini 등^{24,25)}은 근전도와 sinognathograph에 의한 동시적 하악 운동 분석에서 정상인의 경우 외측 익돌근의 수축에 의해 개구 운동이 발생된 후 폐구 운동 초기에는 운동 속도와 교근 및 측두근의 근전도가 평행으로 상승하는 등장성(isotonic) 수축이 발생한 후 등척성(isometric)수축이 발생하여 최대 근활성이 이뤄진 후 감소되지만 측두하악 장애 환자군의 경우 최대 근활성이 이뤄지지 않고 운동 속도와 동일하게 일관성있게 평행을 유지한다고 보고하여 하악 운동 분석시 저작근 활성화의 병행연구를 보고하였던 바 후후 보다 정확한 이론적 근거를 확립하기 위해서는 근전도와 동시에 최소 운동점의 위치 및 이동 형태를 분석할 수 있는 방법이 고안되어야 할 것으로 사료되었다.

또한 본 연구에서 습관적 개폐 운동 만을 재현 하였기 때문에 저작 운동에 따른 순간 회전 중심 및 활주 운동 요소를 고려한 연구가 계속되어야 하며 입력 자료의 정확성을 위해서는 개폐구 운동시 발생될 수 있는 두부 운동의 오차를 감소시키기 위해 상악에 대한 하악의 위치적 관계를 확인할 수 있도록 상악에 일정한 표시를 부여하여야 하며 하악의 개폐 운동과 동시에 좌표를 얻을 수 있는 전자식 데이터 검출 장치가 개발되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

정상인의 하악 운동시 발생하는 최소 운동점의

이동과 하악 운동 재 구성에 관한 생체 공학적 분석은 측두하악 장애 환자의 하악 운동 분석을 위해 임상적으로 필요하다. 이러한 최소 운동점의 결정을 위해 임상적으로 측두하악 장애가 없고 하악 운동이 정상이라고 판단되는 성인 남자 2명을 대조군으로 측두하악 장애 환자 4명을 검사군으로 하여 연구 대상으로 하여 컴퓨터 시각 시스템과 영상 이미지 분석 프로그램을 이용하여 개폐 운동시의 최소 운동점의 이동 및 형태를 추적 분석하고 하악 운동을 재현하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 개폐구 운동시 최소 운동점은 대조군의 경우 하악공에 근접하였으나, 검사군의 경우 하악골 밖 서로 다른 위치에서 발생되었다.
2. 최소 운동점의 변위량은 대조군은 X방향 0.02~0.05cm, Y방향 0.07~0.10cm, 검사군은 X방향 0.05~0.30cm, Y방향 0.08~1.65cm의 범위를 보여 주었다.
3. 개폐구시 운동점의 변위 지수는 대조군은 0.8~1, 검사군은 0.56~2.6범위를 나타냈다.
4. 검사군 4의 교합상 치료후 최소 운동점 위치는 하악공에 근접하고, 변위 지수는 2.6에서 0.52으로 변하였다.
5. 검사군의 최소 운동점 이동 형태는 대조군에 비해 불규칙적인 형태를 나타냈다.
6. 순간 회전 중심의 최소 운동점의 이동에 따라 하악의 개구 및 폐구 운동이 컴퓨터 스크린위에 재 구성되었다.

참 고 문 헌

1. 강동완, 계기성 : "B-spline법에 의한 순간 회전 중심로 결정과 하악 운동에 관한 연구" 「대한치과 보철학회지」 제27권 1집, 55-70, 1984.
2. 윤문근 : "강체의 회전 중심을 구하는 알고리즘에 관한 연구", 공학석사 학위논문, 조선대학교, 1988.
3. 윤용산 : "생체역학의 개요", 「대한기계학회지」 제25권 4집, 327-327, 1985.
4. 손동식 : "악관절의 운동학에 관한 방사선학적 연구", 「치과연구」, 제18권, 51-55, 1985.
5. 정채영 : "시각 패턴 인식을 이용한 강체의 운동 해석에 관한 연구", 공학박사 학위 논문, 조선대학교, 1989.
6. An, K.N., and Chao, E. Y. S. : "Kinematic analysis of the human movement", Abstracts Biomed. Eng. Soc. Symp., 38-39, 1984.
7. Andrews J. G. : "On the specification of joint configurations and motions", J. Biomech., 17 : 155-158, 1984.
8. Blachariski, P., Somerset, J., and Murray, D. G. : "A three-dimensional study of the kinematics of the human knee", J. Biomech., 8 : 375-384, 1975.
9. Bryant, J. T., Wevers, H. W., and Lowe, P. J. : "One parameter model for error in instantaneous center of rotation measurements", J. Biomech., 17 : 317-323, 1984.
10. Clapp, G. W. : "There is no usable vertical opening axis in the mandible" J. Prosth. Dent., 2 : 147-158, 1952.
11. Collett, H. A. : "The movements of the temporomandibular joint and their relation to the problems of occlusion", J. Prosth. Dent., 5 : 486-496, 1955.
12. Cossette, J. W., Farfan, H. F., Robertson, G. H., and Wells, R. V. : "The instantaneous center of rotation of third lumbar intervertebral joint", J. Biomech., 4 : 149-153, 1971.
13. Crispin, B. J., Myers, C. E., and Clayton, J. A. : "Effects of occlusal therapy on pantographic reproducibility of mandibular border movement", J. Prosth. Dent., 40 : 29-22, 1979.
14. Dimnet, J. Carret, J. P., Gonon, G., and Fisher, L. P. : "A technique for joint center analysis using a stored program calculator", J. Biomech., 9 : 771-778, 1976.
15. Fisher : cited from 31
16. Frank, L. : "The opening axis of the jaw", Dent. Digest, 62 : 16-19, 1956.
17. Frankel, V. H., Burstein, A. H., and Brooks, d. B. : "Biomechanics of internal derangement of the knee", J. Bone & Joint Surg., 53-A : 945-967,

1971

18. Grant, P. G. : "Biomechanical significance of the instantaneous center of rotation : The human temporomandibular joint", *J. Biomech.*, 6 : 109-113, 1973.
19. Harding, M. L., Harding, L., and Goodfellow, J. W. : "A preliminary report of a simple rig to aid study of functional anatomy of the cadaver human knee joint", *J. Biomech.*, 10 : 517-523, 1977.
20. Lundberg, M. : "Free movements in the temporomandibular joint, A cineradiographic study", *Acta Radio.*, Suppl. 220, 1963.
21. Lupkewicz, S. M., Gibbs, L. H., Manan, P. E., Lundun, H. C., Ariek, M., and Sinkewiz, S. L. : The instantaneous hinge axis—its reproducibility and use as an indicator for dysfunction, *J. Dent. Res.*, 61 : 2-7, 1982.
22. McMillan, A. S. et al : Center of rotation during jaw movement, *Acta. Odontol. Scand.*, 47 : 323-329, 1989.
23. Meek, R. N., Martens, M., and Demets, D. : "Correlation of instant center displacement with internal derangements of the knee", *Proc. Am. Meeting Canadian Orthopaedic Assoc.*, 1975.
24. Mongini, F, Fabris, E., and Tampia-Valenta. : "A computerized system to study masticatory function, *J. Cranio, Pract.*, 2 : 325~231, 1984.
25. Mongini, F., and Tempiavalenta : "A graphic and statistical analysis of the chewing movement in function and dysfunction," 2 : 125-134, 1984.
26. Morrey, B. F., and Chao, E. Y. S : "Passive motion of the elbow joint" *J. Bone and Joint Surg.*, 58(A) : 401-508, 1976,
27. Moss, M. L. : "The functional matrix concept and its relationship to T. M. J. dysfunction and treatment", *Dent. Clin. North. Am.*, 27 : 445-455, 1983.
28. Moss, R. A. and Garrett, J. C. : "Temporomandibular joint dysfunction syndrome and myofascial pain dysfunction syndrome : a critical view", *J. Oral Rehab.*, 11 : 3-28, 1984.
29. Osborn, J. W. : "The disc of the human temporomandibular joint : design, function and failure", *J. Oral Rehab.*, 12 : 279-293, 1985.
30. Page, H. L. : "Lexicograph, hinge opening, hinge closing and centric", *Dent. Digest*, 61 : 17, 1955.
31. Panjabi, M. M. : "Centers and angles of rotation of body joint : A study of error and optimization", *J. Biomech.*, 12 : 911-920, 1979.
32. Ramey, M. R., and Yang, A.T. : "A simulation procedure for human motion studies", *J. Biomech.*, 14 : 203-213, 1981.
33. Soudan, K., Van Audekercke, R. B. and Martens, M. : "Method, difficulties and inaccuracies in the study of human joint kinematics and pathokinematics by the instant axis concept, Example ; the knee joint", *J. Biomech.*, 12 : 27-31, 1979.
34. Shoup, T. W. : "Optical measurement of the center of rotation for human joint", *J. Biomech.*, 9 : 241, 1976.
35. Smith, R. J. : "Functions of condylar translation in human mandibular movement", *Am. J. Orthod.*, 88 : 191-202, 1985.
36. Stuart, C. E. : "Use of the stuart articulator in obtaining optimal occlusion", *Dent. Clin. North Am.*, 23 : 259-270, 1979.
37. Walker, P. S., Shoji, H., and Erkman, J. J. : "The rotational axis of the knee and its significance to prosthesis design", *Clin. Orthop. Rel. Res.*, 89 : 167-170, 1972.
38. Winstanley, R. B. : "The hingeaxis : A review of the literature", *J. Oral Rehab.*, 12 : 135-159, 1985.
39. Woltring, H. J., Huiskes, R., and Delange, A. : "Finite centroid and helical axis estimation from noisy landmark measurements in the study of human joint kinematics", *J. Biomech.*, 18 : 379-389, 1985.
40. Wu Jinbao, Xu Xiaoning, Sheng Jingen : "Analysis of the opening closing movement of the human temporomandibular joint", *Acta Anat.*, 133 : 213-216, 1988.

—Abstract—

A STUDY ON SIMULATION OF THE MANDIBULAR MOVEMENT OF THE PATIENTS WITH TEMPOROMANDIBULAR JOINT DISORDER

Sang-Yoon Park, D.D.S., M.S.D., Dong-Wan Kang, D.D.S., M.S.D., Ph.D.,
Kee-Sung Kay, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Chosun University

To understand the biomechanics of the mandibular movement of the patients with T.M.J. disorder, it is necessary to analyze the mandibular movement by the least moving points of instantaneous center of rotation on computer screen.

In this study, two subjects without T.M.J. disorder and with normal occlusion and four patients with T.M.J. disorder were selected for obtaining the processing data.

The habitual opening and closing movements were recorded by image recognition system of video and computer and then the mandibular movement and the least moving point were analyzed using computer program for image analysis of specialized points.

The results obtained were as follows :

1. The least moving points of control group during opening and closing were close to the mandibular foramen, but in the test group, there were differences between two positions of the least moving points during opening and closing.
2. The variations of the least moving point were in the range of 0.02~0.05cm of X-coordinate and 0.07~0.10cm of Y-coordinate for control group, whereas in the range of 0.05~0.30cm of X-coordinate and 0.08~1.65cm of Y-coordinate for test group.
3. The index of variation during opening and closing movements was shown in 0.8~1.0 for the control group and in 0.56~2.6 for the test group.
4. After the treatment of the test group No. 4 by occlusal splint the least moving point was close to the mandibular foramen and the index of variation was changed from 2.5 to 0.5.
5. The tracing shape of the least moving point in the test group represented the irregularities compared to the control group.
6. The mandibular opening and closing movements were simulated on the computer screen following the movement of the least moving point of instantaneous center of rotation.