

하악골 운동의 순간회전 중심결정에 관한 연구

조선대학교 치과대학 보철학교실

강 근 수 · 윤 창 근

목 차

- I. 서 론
- II. 연구재료 및 방법
- III. 연구결과
- IV. 총괄 및 고안
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록

및 질환^{2,34)}, 골격근의 발달⁴¹⁾ 등을 연구 또는 진단하는데 이용하고 있다.

하악골 운동의 생체 공학적 특성중에서 하악골 운동의 회전축에 대해서는 많은 논란이 있어 왔다. 특히, 하악골의 개폐 운동시 많은 회전축이 발생되는데 중심 위에서 10 ~ 20 mm범위내의 순수회전 운동시에 생기는 축을 종말접번축이라 하며 이후 활주 운동과 회전 운동이 동시에 발생될 때에는 운동의 진행에 따라 순간 회전 중심이 존재하게 된다.

I. 서 론

인체의 골격 계통의 운동은 주로 관절을 중심으로 발생되며 이 관절 운동의 하나인 하악골 운동은 악관절 구조의 형태와 신경근 기전의 지배 하에서 발생된다.

이러한 관절 운동의 범위와 방향을 3차원적으로 분석하는 것이 운동학⁴⁾이며 레오나르도다빈치에 의해 "Notes on the Human Body"⁷⁾에서 최초로 이에 대한 지식이 기술된 이후 인체의 관절 운동에 관하여 많은 연구가 있었고^{8,33)}, 여기에서 축적된 지식이 임상에 응용되어 왔다.²⁰⁾

관절 운동학 지식의 임상적 응용은 정상 운동을 기준으로 비정상 운동 양상을 비교 분석함으로써 관절 질환의 진단 및 적절한 처치에 이용할 수 있기 때문에^{7,13)} 치과의학 분야에서도 많은 학자들이 여러가지 방법으로 악관절을 중심으로 한 하악골 및 근육의 생체 공학적인 분석을 시행하여 저작 근기능²¹⁾, 부정교합^{6,23)}, 악관절 장애

하악골 운동시의 접번축에 대해 collet¹⁶⁾, McLean²⁸⁾ 등은 병리적 교합 및 부정 관절의 진단에 이용할 수 있다 하였고, Kornfeld²⁴⁾도 그것은 저작계 질환의 연구 및 치료에 필요하다고 했으며, stuart³⁸⁾는 이를 pantograph에 하악골 운동을 재현하는데 이용하였고 접번축을 이용한 pantographic reproducibility index(P. R. I.)¹⁶⁾로써 악관절 질환의 치료 결과를 분석하는등 그 중요성이 인정되고 있다.

반면에 Page³¹⁾는 접번축은 하나의 가상이며 기능적 접번 개구를 증시하여 안정위 까지의 개구는 접번축에 의한 회전이 아니고 악골이 관절 낭 인대가 이완되므로써 발생되는 것이라 하였고, kurth²⁶⁾ 등과 Trapozzano⁴²⁾등은 다발성 접번축을 주장하였다. 또한 접번축이 존재 할지라도 clutch의 존재로 인한 접번축의 결정시 정확도가 의심되며^{27,36)}, 특히 kinematic facebow을 이용한 접번축의 결정시 술자 간의 오차에 따른 의문이 제기되고¹⁾, 접번축의 위치에 대해서도 많

은 학자들이 하악 과두 밖에 위치한다고 했으며 그 외에 악골 운동에 따른 순간 회전 중심에 대해 보고 했다. (21,23,25,38).

본 논문의 목적은 하악골운동기록 장치를 고안 제작하여 하악골의 습관적 개폐 운동과 후방 경계 운동을 기록한 후 운동 궤적에 따른 순간 회전 중심을 결정 추적하고 접변축의 사실성을 확인하는 것으로 이러한 운동 궤적에 맞는 수학적 모델을 개발하고 또한 이 모델에 따른 순간 회전 중심의 양상을 컴퓨터 프로그램으로 분석함으로써 악관절 장애 환자의 진단과 치료 및 예후를 추정하는데 이용할 수 있으리라는 가설을 설정하여 본 연구를 시도하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 하악골운동 기록 장치의 제작과 장착

습관적 개폐운동 및 후방 경계 운동으로 기록하기 위해 고안한 하악골 운동로 기록장치는 Stuart head frame, 접변축 locator, 방안지가

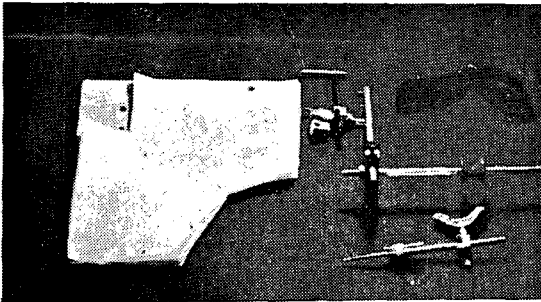


Fig. 1. The gnathorecorder consisted of a Stuart head frame, hinge axis locator, plastic tracing plate, lower resin open clutch and spring pencil.

부착된 플라스틱 시상판, 하악 resin open clutch와 기록 연필로 구성되었다 (Fig.1).

접변축 locator의 toggle을 Stuart head frame에 부착하고 대상자의 종말 접변축이 시상판에 정확히 인기될 수 있도록 조정하였다 (Fig.2).

수평 stud가 연결된 resin open clutch를 중심 교합시 상악 전치에 접촉되지 않도록 하악 치아협면에 부착시킨후 수평 stud의 전방 to-

ogle에 하악골 운동 기록을 위해 스프링이 부착된 연필을 고정하고 시상판을 head frame에 고정시킨후 운동기록전 모든 기구를 전방, 상방, 후방에서 균형있게 재조정 하였다 (Fig.3-1,3-2).

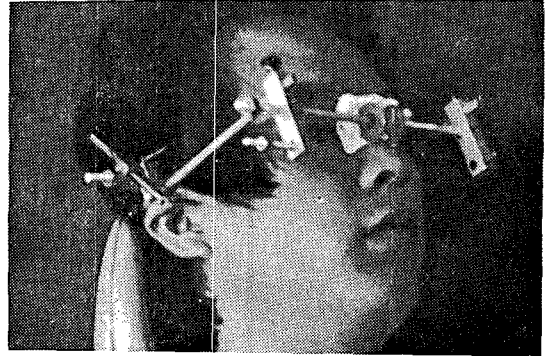


Fig. 2. The set-up of modified hinge axis locator attached to a Stuart head frame.

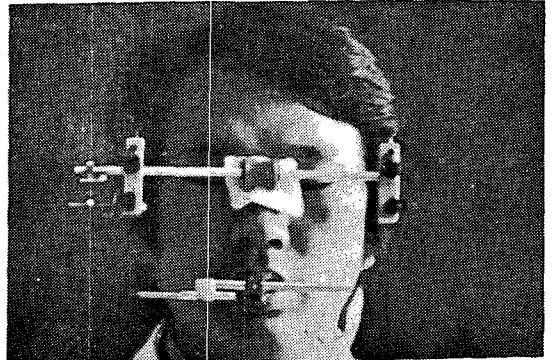


Fig. 3-1. The resin open clutch and spring pencil attached to the lower anterior teeth.

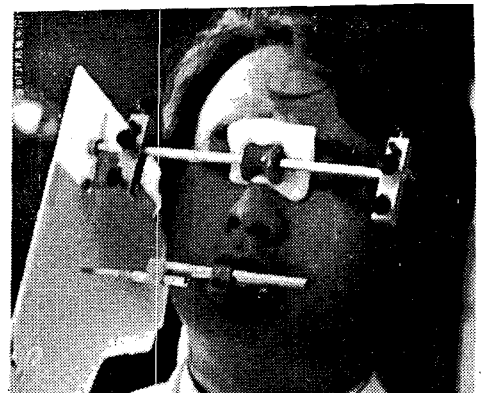


Fig. 3-2. The complete set-up of the Gnathorecorder.

2. 종말 접변축 결정 및 습관적 개폐 운동기록

악관절 장애 및 교합장애가 없어 하악골 운동이 정상적이라고 판단되는 27세의 성인 남자를 대상으로 Stuart kinematic face-bow를 사용하여 통상의 시행 착오법에 따라 종말 접변축을 결정하였다. 하악골 운동 기록장치를 이용하여 습관적 개폐 운동을 10회 반복시켜 기록한 후 접변축 locator로 최후방 접변축을 인기하였다 (Fig.4).

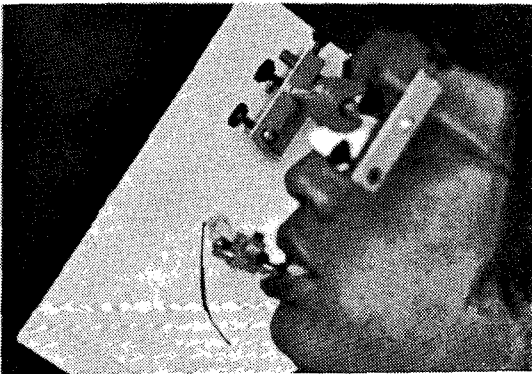


Fig. 4. The recording of opening and closing movement on the plastic sagittal tracing plate.

3. 전 후방 경계운동 기록

같은 방법으로 하악골운동 기록장치를 이용하여 경계 운동을 기록하고 운동로를 비교하기 위해 동일 실험대상에서 visitrainer를 사용하여 경계 운동로를 기록하였다 (Fig.5).

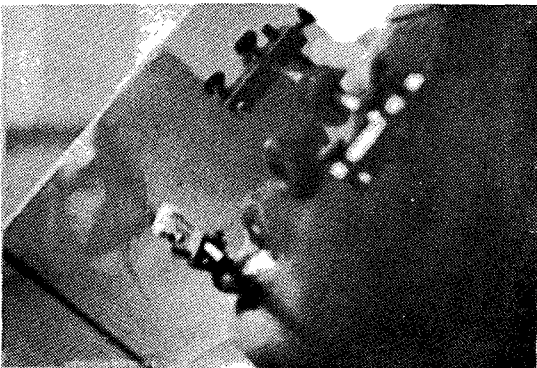


Fig. 5. The recording of border movement on the plastic sagittal tracing plate.

4. 습관적 개폐운동로 및 후방 경계 운동로의 수학적 모델 분석

1) 운동로의 곡률 반경 (R) 및 회전 중심 (x_c, y_c) 결정방법

습관적 개폐 운동과 접변운동로에 따른 수학적 모델은 $Y=ax^2 + bx + c$ (Fig.6)로 하고 최소 자승법에 의해 매개변수 a,b,c를 구하였다.

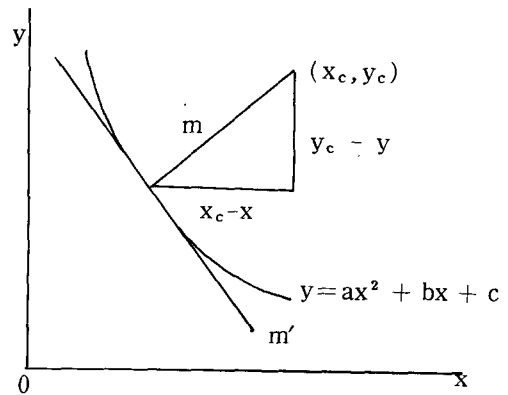


Fig. 6. The same mathematical model ($Y=ax^2 + bx + c$) of the habitual opening path and the hinge path

운동로의 곡률 반경 (R)은 일반적인 공식 $R = \frac{(1 + Y'')}{Y''}$ 에서 구하였다. 회전 중심 좌표 (x_c, y_c)는 회전 반경 방향 (m) $m = \frac{y_c - y}{x_c - x}$ 과 접선의 기울기 (m') $m' = y'$ 를 정하고 m과 m'는 서로 직교하므로 직교 관계식 $mm' = -1$ 에서 $m = -\frac{1}{m'} = -\frac{1}{y'}$ 이 되므로 다음과 같이 구해진다.

$$\frac{y_c - y}{x_c - x} = -\frac{1}{y'} \rightarrow y_c = \frac{x_c - x}{y'}$$

$$R^2 = (x_c - x)^2 + (y_c - y)^2 \rightarrow (x_c - x)^2 + \frac{(x_c - x)^2}{(y')^2}$$

$$\rightarrow x_c = x + \frac{R}{1 + (y')^2}$$

2) 습관적 개폐 운동로의 좌표 (x, y) 결정 및 순간 회전 중심의 분석 하악골운동 기록장치에 의해 표기된 개구운동로의 x축상 5mm씩 증가시켜

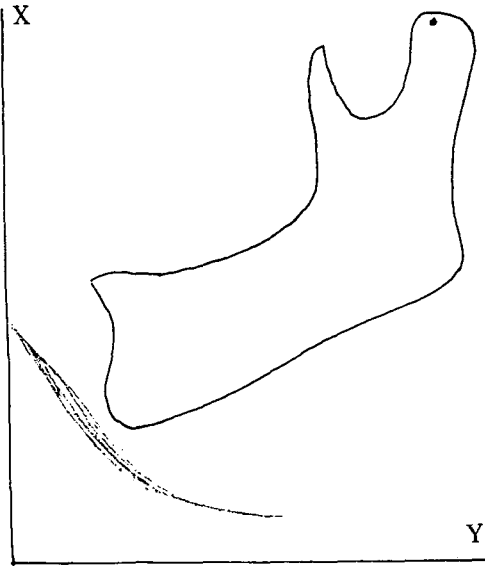


Fig. 7. The opening and closing paths obtained from the Gnathorecorder and X, Y line's data in the opening path.

구해진 X, Y축 좌표 자료 (Fig.7, Table 1) 를 대입하여 수학적 모델의 매개 변수를 결정하고 이에 따른 개폐 운동로를 재구성하여 모델의 운동로에 의한 각각의 순간 회전 중심 (x_c, y_c) 및

Table 1. The data pairs (X, Y) in the habitual opening path.

Step	X	Y
1	0.0	5.0
2	0.5	4.1
3	1.0	3.2
4	1.5	2.4
5	2.0	1.8
6	2.5	1.3
7	3.0	1.1
8	3.5	0.9
9	4.0	0.7
10	4.5	0.6
11	5.0	0.5
12	5.35	0.45
13	9.2	11.9

반경 (R) 을 계산한 후 컴퓨터 프로그램에 의해 반경이 동반된 순간회전 중심의 이동 양상을 결정하고 일정한 점인 kinematic hinge axis 좌표 (Table 1, No.13) 와의 관계를 분석하였다.

3) 접변 운동로의 좌표 (x,y) 결정 및 순간 회전 중심의 분석

하악골운동 기록 장치에 의해 묘기된 접변운동로 (Fig.8-1) 의 X축상 1 mm씩 증가시켜 구해진 x,y축 좌표 자료 (Table 2-1) 를 대입하여 수학적 모델의 매개 변수를 결정하고 이에 따른 개폐 운동로를 재구성하여 모델의 운동로에 의한 순간 회전 중심의 이동 양상 (Step 1,6,11,16) 을 결정하고 일정한 점 kinematic hinge axis 좌표 (Table 2-1, step 17) 와의 관계를 분석하였다.

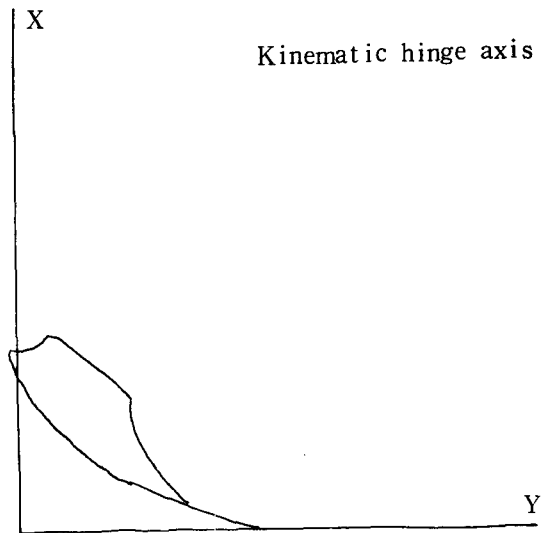


Fig. 8-1. The border movement and the kinematic hinge axis recorded by the Gnathorecorder.

5/4/7/2008-1

Visitrainer에 의해 얻어진 접변 운동 (Fig 8-2) 도 동일한 방식에 의해 좌표 자료 (Table 2-2) 를 구하여 수학적 모델의 매개 변수와 순간회전 중심의 양상을 결정하여 하악골 운동 기록 장치에 의해 얻어진 양상과 비교하였다.

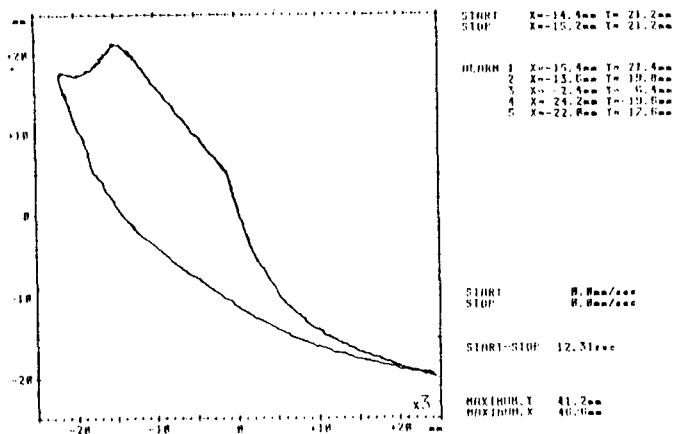


Fig. 8-2. The border movement obtained from Visitrainer.

Table 2-1. The data (X, Y) in the hinge path and the kinematic hinge axis recorded by the Gnathorecorder.

Step	X	Y	X(Y)	Y(T)
1	0.8	4.28	- 2.74	3.39
2	0.9	4.22	- 2.63	3.42
3	1.0	4.19	- 2.54	3.48
4	1.1	1.00	- 2.33	3.43
5	1.2	3.88	- 2.17	3.43
6	1.3	3.78	- 2.03	3.44
7	1.4	3.68	- 1.89	3.45
8	1.5	3.56	- 1.74	3.45
9	1.6	3.47	- 1.60	3.47
10	1.7	3.38	- 1.47	3.49
11	1.8	3.28	- 1.33	3.50
12	1.9	3.19	- 1.20	3.51
13	2.0	3.10	- 1.06	3.53
14	2.1	3.00	- 0.92	3.54
15	2.2	2.92	- 0.80	3.57
16	2.3	2.82	- 0.63	3.60
17	9.8	11.35	- 2.28	14.82

X(T) and Y(T) is obtained from rotation angle(49.8°) of X and Y lines.

Table 2-2. The data pairs (X, Y) in the hinge path plotted by the Visitrainer.

Step	X	Y	X(T)	Y(T)
1	0	14.3	- 10.90	9.26
2	1	12.9	- 9.18	9.11
3	2	11.6	- 7.54	9.04
4	3	10.4	- 5.98	9.02
5	4	9.0	- 4.27	8.88
6	5	7.9	- 2.78	8.93
7	6	6.8	- 1.30	8.98
8	7	5.4	0.42	8.83
9	8	4.3	1.90	8.88
10	9	3.3	3.31	8.99
11	10	2.1	4.88	8.98
12	11	0.8	6.51	9.00

X(T) and Y(T) is obtained from rotation angle(49.6°) of X and Y lines.

5. 하악골 운동의 재현

하악골 운동레적을 기록한 후 하악골 운동 기록장치에서 head frame 과 시상판을 제거한 다음 kinematic hinge axis 점에 납판을 부착하여 중심 교합에서 cephalogram을 촬영하였다 (Fig. 4,10). 얻어진 방사선 사진상의 기록 연필의 끝점과 납점을 기준으로 개폐 운동로와 하

악골의 해부학적 구조를 투영모 눈썹이에 트레이싱한 후 일정한 좌표 자료 (Fig.9, Table 3)를 대입하여 습관적 개폐운동에 따른 하악골의 운동을 재현하고 운동 양상을 분석하였다.

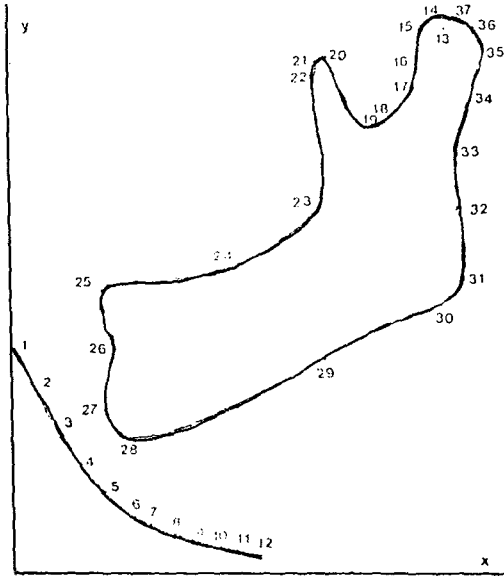


Fig. 9. The X, Y line's data in the habitual opening path and the data of the mandible obtained from a paper tracing of cephalogram.

Table 3. The data pairs (X, Y) of the habitual opening path, kinematic hinge axis and mandible.

Type	No.	X	Y	X (T)	Y (T)
opening path	1	0.0	5.0	-1.86	4.64
	2	0.5	4.1	-1.06	3.99
	3	1.0	3.2	-0.26	3.34
	4	1.5	2.4	0.50	2.79
	5	2.0	1.8	1.19	2.41
	6	2.5	1.3	1.84	2.14
	7	3.0	1.1	2.38	2.14
	8	3.5	0.9	2.91	2.14
	9	4.0	0.7	3.45	2.14
	10	4.5	0.6	3.95	2.23
	11	5.0	0.5	4.46	2.32

kinematic
hinge axis
mandible

12	5.35	0.45	4.80	2.41
13	9.2	11.9	4.11	14.47
14	8.0	12.2	3.82	14.67
15	8.6	11.9	3.56	14.24
16	8.8	11.2	4.00	13.67
17	8.6	10.6	4.04	13.04
18	7.1	10.0	3.80	12.30
19	6.7	9.8	3.50	11.96
20	6.7	11.3	2.02	12.98
21	6.5	11.2	1.87	12.81
22	6.4	10.9	1.89	12.49
23	4.5	8.0	3.06	9.84
24	1.6	6.6	1.82	7.84
25	2.9	6.2	-0.54	6.46
26	2.2	4.9	0.22	5.37
27	2.0	3.6	0.52	4.09
28	6.5	3.0	1.20	3.71
29	9.7	4.7	4.47	6.85
30	9.2	5.9	6.35	8.90
31	9.6	6.4	6.53	9.51
32	9.5	8.0	5.84	10.95
33	9.4	9.3	5.27	12.13
34	9.8	10.4	5.23	13.29
35	10.0	11.5	5.01	14.39
36	9.8	12.0	4.63	14.78
37	9.5	12.1	4.32	14.77
38	9.0	12.2	3.82	14.67

X(Y) and Y(T) is obtained from rotation angle(21.8°) of X and Y lines.

III. 연구결과

1. 습관적 개폐 운동의 순간 회전축 분석

개폐 운동 양상에 가정된 수학적 모델에 따라 대상자의 습관적 개폐 운동시 운동로의 좌표 대입 후 수학적 모델을 21.8°회전시킴으로서 표준오차 0.053의 수학적 모델 $Y = 0.11x^2 + 0.66x + 3.09$ 의 함수가 제시되었다. 이 모델은 대상자의 습관적 운동로에 가장 근접하는 모델로

써 재구성된 운동로에 따른 순간회전 중심의 좌표와 반경은 Table 4에서와 같았다.

순간회전 중심 좌표와 반경을 이용하여 순간회전 중심의 이동을 컴퓨터 프로그램에 의해 재구성한 바, (Fig.10-1,2) 습관적 개폐 운동의 최초 순간회전 중심은 좌표 $X=13.37, Y=10.17$ 로써 kinematic 접변축의 좌표 ($X=9.2, Y=11.9$) 보다 후하방에 위치하며 초기 개폐운동시 순간회전 중심이 Fig.10-1의 step 2 좌표까지

Table 4. The data pairs of x_c, y_c and radius obtained from the mathematical model of the habitual opening path.

Step	X_c	Y_c	R
1	13.37	10.17	14.33
2	10.38	8.97	11.01
3	8.19	7.76	8.51
4	6.75	6.68	6.78
5	5.93	5.91	5.69
6	5.47	5.33	5.10
7	5.33	5.16	4.67
8	5.28	5.08	4.54
9	5.29	5.12	4.6
10	5.35	5.36	4.84
11	5.39	5.73	5.24
12	5.39	6.08	5.63

kinematic 접변축 후하방에서 평행으로 이동하는 양상을 보인 바, 습관적 개폐의 초기 운동은 회전 운동이 아니고 거의 직선적인 운동임이 확인되었다.

초기 운동후 Fig.10-1의 step 2에서 4까지 회전축이 하전방으로 급격히 이동하고 step 5의 $X=5.93, Y=5.91$ 좌표에서 회전축이 집합되기 시작하여 step 6,7,8에서 복합된 한점을 중심으로 일정한 회전축이 형성되고 step 8 이상에서는 Y_c 좌표가 증가되어 회전축이 상방으로 이동됨을 나타내었다.

하악골 좌표와 순간 회전축의 대비 (Fig.11)

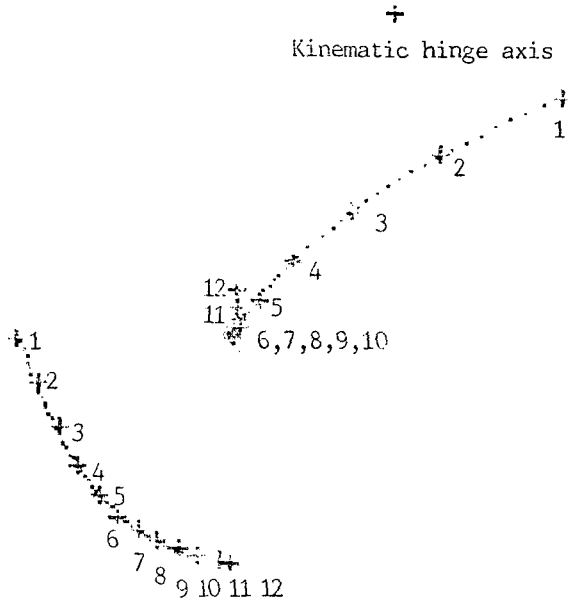


Fig. 10-1. The instantaneous centre of rotation (x_c, y_c) obtained from the mathematical model of the habitual opening path.

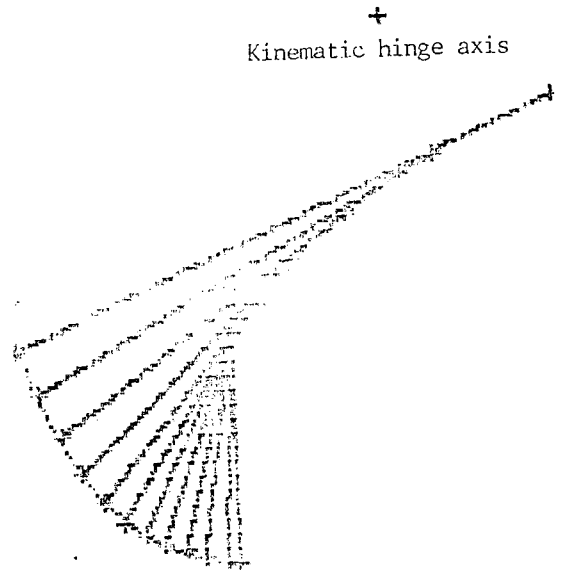


Fig. 10-2. The movement of the instantaneous centre of rotation with radius of rotation centre.

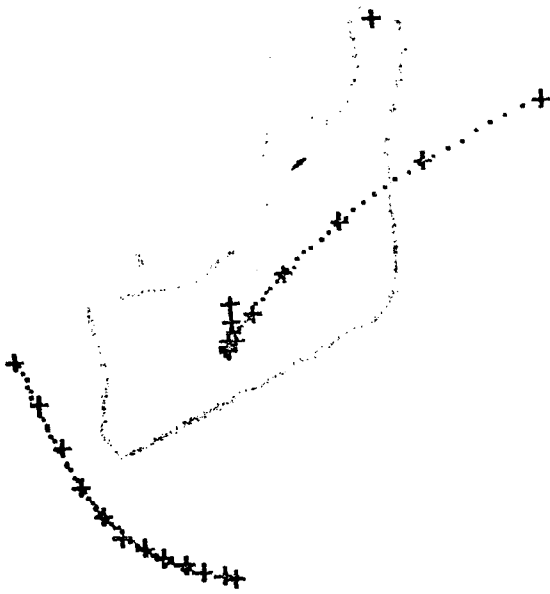


Fig. 11. The path of instantaneous centre of rotation on the mandible.

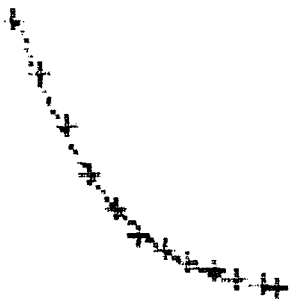
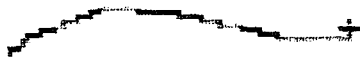


Fig. 12. The movement of kinematic hinge point followed by the instantaneous centre of rotation of the opening path.

에서 초기 운동시에는 하악골 회전축이 kinematic 접변축의 후하방 즉 하악골체 후의방부에 발생되어 개구가 계속됨에 따라 하악골체 내부로 이동하고 최대 개구가 시작되는 부위에서는 하악골체 중앙부에 회전축이 일정하게 발생되었다가 최대 개구시에는 상방으로 이동됨을 나타내었다.

수학적 모델에 의해 재구성된 개폐 운동로에 따른 어느 일정한 점의 이동양상을 분석하기 위해 kinematic 접변축 좌표를 이용하였던 바, 이 좌표는 개폐 운동의 순간회전축에 따라 Fig.12와 같은 이동 양상을 나타내며 이동의 형태는 악관절의 해부학적 구조인 관절 돌기와 유사한 모습을 재현하고 있다.

2. 접변운동 분석

하악골 운동 기록 장치에 의한 접변 운동로의 좌표 대입후 수학적 모델을 49.8° 회전시킴으로서 표준오차 0.017의 수학적 모델 $Y = 0.04x^2 + 0.21x + 3.71$ 의 함수가 제시되었다. 이

Table 5-1. The data pairs of x_c , y_c and radius obtained from the mathematical model of the hinge path by the Gnathore-corder.

Step	X_c	Y_c	R
1	10.46	12.49	12.68
2	10.49	12.51	12.68
3	10.54	12.55	12.68
4	10.51	12.53	12.69
5	10.51	12.53	12.71
6	10.53	12.55	12.73
7	10.55	12.57	12.76
8	10.57	12.58	12.79
9	10.59	12.61	12.82
10	10.62	12.64	12.86
11	10.65	12.67	12.91
12	10.69	12.71	12.95
13	10.72	12.74	13.00
14	10.75	12.78	13.06
15	10.79	12.83	13.12
16	10.85	12.89	13.19

모델에 따른 순간회전 중심의 좌표와 반경은 Table 5-1에서와 같았다.

Table 5-1의 순간회전 중심 좌표를 이용하여 순간회전 중심의 이동을 컴퓨터 프로그램에 의해 재구성 한바 모든 순간회전 중심은 kinematic 접변축 후상방에 위치하였다 (Fig.13-1).

접변운동로의 각 단계에 따른 이동 양상에 의해 초기 접변운동시 (Step 1-5)에는 일정한 회전중심에 의해 회전운동 양상을 보이나 step 6에서 11까지 점진적 후상방으로 회전 중심이 이동하는 양상을 나타냈으며 접변 운동말기에는 후상방에 위치하였다 (Fig.13-2).

+

Kinematic hinge point

Fig. 13-1. The instantaneous centre of rotation (X_c , Y_c), the hinge path obtained from the Gnathtorecorder and the kinematic hinge point.

수학적 모델에 의해 재구성된 접변운동로를 기준으로 이미 결정한 kinematic 접변축을 역산하여 확인한 결과 접변축 좌표를 중심으로 하여 5 mm이내에서 위치하였다 (Fig.14).

Visitrainer에 의한 접변운동로의 좌표 대입후 수학적 모델을 49.6°회전시킴으로써 표준오차 0.052의 수학적 모델 $Y = 2.45^{-3}x^2 - 3.55^{-3}x + c$ 의 함수가 제시되었다.

}6
11
6
+

Kinematic hinge point

Fig. 13-2. The position (step 1,6,11,16) of the instantaneous centre of rotation (X_c , Y_c) obtained from the mathematical model of the hinge path.

Fig. 14. The movement of the kinematic hinge point followed by the hinge path.

이 모델에 따른 순간회전 중심의 좌표와 반경은 Table 5-2에서와 같았다.

Table 5-2. The data pairs of x_c , y_c and radius obtained from the mathematical model of the hinge path by the Visitrainer.

Step	X_c	Y_c	R
1	163.38	137.86	204.84
2	163.13	137.66	204.57
3	162.95	137.52	204.35
4	162.85	137.44	204.18
5	162.66	137.29	204.03
6	162.65	137.28	203.94
7	162.65	137.29	203.88
8	162.53	137.18	203.85
9	162.57	137.22	203.86
10	162.68	137.31	203.90
11	162.70	137.33	203.98
12	162.70	137.33	204.10

Table 5-2의 순간회전 중심은 Table 5-2에 비해 10배 이상 크기의 회전축 좌표와 반경을 나타낸 바, Table 5-2에 의한 회전중심 양상은 Fig.15에서와 같이 반경이 대단히 큰 일정한

+

+

Fig. 15. The instantaneous centre of rotation of the hinge path obtained from the Visitrainer.

좌표의 원운동이나 수학적 모델로 보아 거의 직선 운동으로 간주되었다.

3. 하악골의 운동 궤적의 재현

습관적 개폐 운동의 궤적을 기록하고 여기에 따른 회전 중심을 결정 분석한 후 다시 하악골체의 이동 형태를 그래픽 컴퓨터에 의하여 재현하였다 (Fig.16).

step 1에서 시작된 하악골 운동은 step 2에서 하방 이동하다가 step 3에서 전 하방으로 이동하고 있음을 보여 주었다. step 4,5에서 전 상방으로 이동이 시작되는 양상을 나타내며 관절 돌기의 전 후방 구조에 따른 이동임을 묘사해 주고 있었다. step 6,7,8,9에서 최상방으로 이동하다가 step 10,11,12에서 하방으로 이동되었다.

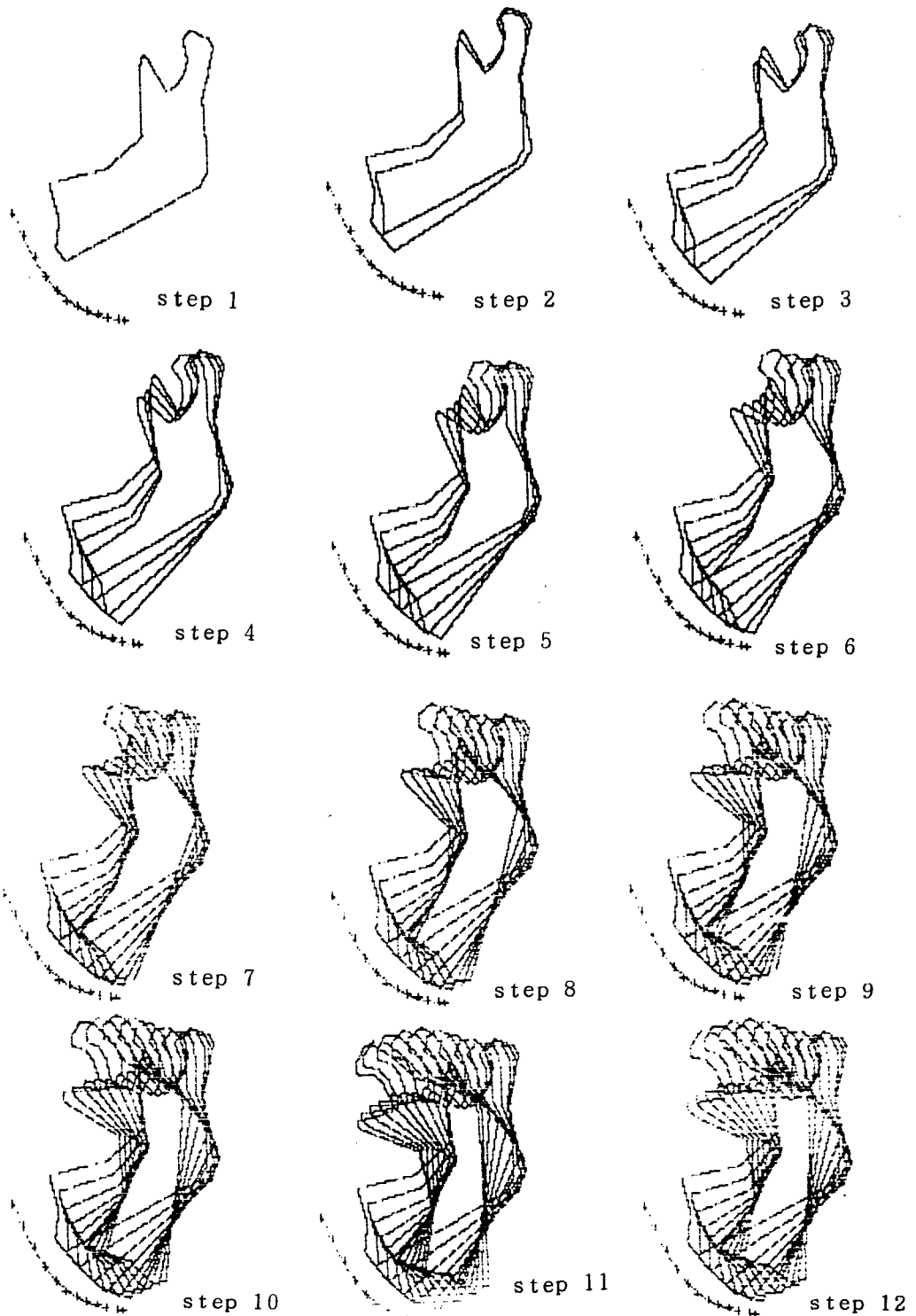


Fig. 16. The computer graphic movement of mandible obtained by the instantaneous centre of the habitual opening path.

IV. 총괄 및 고안

인체 관절의 생체 공학적 이해와 기능을 재현하기 위한 연구로써 인체의 관절 운동을 모델화시켜 운동 모델에 대한 수학적 공식이 유도되어 왔다.³³⁾

생체 공학에서 근본적인 문제의 하나는 인접골조직 사이의 관절에서 발생하는 회전과 활주의 순간적인 운동양태를 어떻게 적절하게 묘사 하느냐이다.⁸⁾

인체 관절의 하나인 측두악관절의 경우에도 회전 및 활주 운동의 복합체로 인식되고 있으며 최근 악관절 장애환자가 점증함에 따라 정상적인 하악골 운동에 대한 생체 공학적 분석이 필요하며 이러한 이해는 악관절 장애에 따른 비정상 운동을 진단하고 정상 운동과의 차이를 비교하므로써 치료 과정에서의 예후 지표로써 이용할 수 있기 때문에 중요하다.

인체의 다른 관절에선 생체 공학적인 면에서 수학적 공식이 유도되어 임상에 이용하고 있으나 하악골 운동의 경우 Shanahan³⁶⁾ 등은 정상 하악골과 접번축 교합기의 개폐 운동에 대한 수학적 차이를 연구하여 하악골 운동은 $Y=0.11x^3-0.4x^2+0.23x-0.16$ 이고 교합기 운동은 $x^2+y^2+18.94x-6.38y=0.163$ 으로 하악골 운동과 접번축 교합기는 일치하지 않는다는 점에서 수학적 개념을 도입했었다. 이에 따라 하악골 운동의 경우 습관적 개폐 운동 양상에 따른 수학적 모델에 의해 회전과 활주로 이루어진 습관적 개폐 운동의 순간 회전축을 컴퓨터에 의해 산출하여 분석한 결과 개구 초기에 하악골은 후하방 직선 개구운동을 하며 이에 따라 회전 반경이 대단히 큰 순간 회전 중심이 kinematic 접번축 후하방에서 발생되었다.

하악골을 중심으로 한 순간 회전축의 위치는 초기 운동시 하악골체 밖에 있었다(Fig.11). 초기 개구 운동중의 회전축 위치에 대해 koski²⁶⁾ 는 회전축은 유아들기 부분에 빈번하게 나타

나고 이러한 위치는 운동의 크기와 환자의 위치에 따라 상당히 이동될 수 있다고 하였으며, kawata²³⁾ 는 혼합 치열기의 cephalogram 연구에서 안정위에서 중심 교합까지의 회전축은 정상안과 전방개방 교합 환자는 과두 하방에 위치한다고 하였고, Clapp¹⁴⁾ 는 최대 개구를 제외하고 모두 하악골 밖에 회전축이 존재한다고 하였으며, 과두 없이도 저작이 가능하다는 주장^{12,43)} 을 비추어 볼때 초기 운동시 회전축이 과두 내에 존재한다는 사실을 확인할 수 없었다. 이에 대해 Gysi²²⁾ 는 다양한 하악골 운동이 발생할때 실제 회전축은 과두에 있지 않고 과두는 하악골 운동시에 하악의 고정성의 유도 기능만을 하는 것으로 간주하여 악관절 부위는 관절운동의 유도인자로서 기계적인 기능을 가진다고 보고하였음에 하악골 운동시 과두의 지렛대 역할에 대해 저작근력이 포함되는 운동역학적 측면에서 연구되어야 할 것이다.

본 연구중 하악골 운동 궤적(Fig.16)에 따르면 초기 운동시 과두는 하방으로 이동함을 나타내고 있는 바, 이는 과두가 교합에서 안정위까지의 이동하는 것으로서 폐구시에는 관절낭인대의 긴장에 의해 관절의 상방에 위치하였다가 개구 초기에 이 인대가 이완되어 수직 하방 운동을 한다는 Page³¹⁾ 의 주장과 일치하였다. 또한 외익돌근의 영향에 의해 접번운동과 유사한 하악골의 하방 이동이 과두 자신의 radial arc를 방해한다는 보고²⁷⁾ 와 같이 하악골은 초기 운동시 회전축이 과두내에 존재하기 보다는 직선적 하방운동에 의해 결과적으로 회전축은 과두후하방에서 발생됨이 확인되었다. 초기 운동후 개구가 커짐에 따라 급격히 하전방으로 이동되는 순간 회전 중심을 볼 수 있으며 최대 개구가 시작되면서 일정한 점을 중심으로 회전축이 형성되었다(Fig. 10-1).

하악골 운동시 회전축의 위치에 대해 Smith³⁸⁾ 는 상행지 중간부위를 주장하고, Moss^{29,30)} 등은 기계적 관점에서 두개 이상의 회전축이 동시에 작용하면 결과적인 회전축이 유발되어 악관절의 모

든 회전에 대한 중심축이 하악골에 위치한다고 했으며, Frank¹⁹⁾는 하악골은 하악골의 중심적 위치로써 이 위치에 존재한다고 주장한 반면 Grant²¹⁾는 신체의 대부분의 관절이 고정성 회전축 보다는 가동성 순간 회전축을 중심으로 회전한다는 것에 착안하여 과두를 중심으로만 항상성 회전축과 이동성 순간 중심을 이용한 저작근의 생체공학 비교에서 순간 회전 중심을 사용한 때의 운동량이 저작근의 기능과 합치되고 최소한 악관절의 경우에는 의미가 있다고 하였다.

Bennett¹⁰⁾는 과두의 순간 회전축은 악골의 활주에 의해 발생한다고 하여 순간 회전축과 활주 운동의 관련성을 주장한 이후, Sicher³⁷⁾는 개구 중 과두 활주는 인간에게 특별한 것으로 활주로 인해 하악 후면과 유양 돌기 사이의 공간을 증가시켜 개구시 하악골 후방의 조직 압박을 피할 수 있다고 했으며, Smith³⁸⁾는 활주는 하악골에서의 회전축 위치를 유도하고 교근 신장량을 감소시켜 근섬유의 length-tension curve의 효율적인 범위내에서 근육이 기능하도록 하며 인간은 직립 자세로 기능하므로 개구중 혀와 하악골에 의한 식도, 기도, 인두, 경동맥초 등의 압박을 방지한다고 하여 활주 운동을 중요시 하였다.

본 논문에서도 과두의 활주에 따라 회전축의 위치는 변화되고 특히 최대 개구시에는 어느 한 점을 중심으로 일관적으로 회전하는 것이 관찰되었다. 활주운동의 중요성에 비추어 이 운동을 원활하게 하는 해부학적 구조물은 관절원판으로 생각될 수 있다. Dolwick¹⁸⁾ 등에 의하면 인체의 악관절 기능 장애는 일차적으로 관절 원판과 과두 사이의 부적절한 조화에 기인한다는 점을 가정하여 하악골 운동시 관절 원판의 활주와 동시에 발생하는 개구 운동의 순간 회전 중심을 분석하므로써 과두 활주의 정상 기능 여부를 임상적으로 평가하여 악관절 장애의 생체공학적 진단과 동시에 치료 결과의 예측 지수로 응용할 수 있다는 가설을 전제해 볼때 하악골운동의 회전축 결정 방법을 수학적 모델로 예측하는 것은 많은 임상적 의미가 있다고 생각된다. 순간 회전축을

결정하는 방법으로 방사선 사진, cinephotography, x-ray photography에 기록된 기준점을 이용한 Rouleaux 법에 의해 순간 회전축을 결정해 왔으나^{3, 13, 20, 32)}, 본 연구에서는 회전에 따른 곡률 반경을 이용하여 순간 회전 중심을 결정한 바, 이는 개폐 운동을 최소 자승법에 의해 수학적 모델로 구성함에 따라 하악골 운동을 통계학적으로 객관화하였다는 데 의의를 찾을 수 있었다. 그러나 최대 개구에 따른 하악골 운동의 재현에서 정상적으로 하악골 운동이라 볼수 없었던 점은 본 모델의 경우 순간의 회전만을 관점으로 연구되었기 때문으로 생각되며 이러한 문제점의 개선을 위해서는 시상면 상 개폐 운동의 재현시 하나의 개폐 운동기록 보다는 방향을 달리하는 두개의 개폐운동이 기록되고 3차원적 운동기록이 이루어져야 보다 정확한 하악골 운동 모델이 개발될 것으로 사료된다.

하악골 운동 기록기를 이용하여 후방 경계운동을 재현하고 수학적 모델에 대입한 결과 접변 운동 또한 $Y = ax^2 + bx + c$ 의 함수로써 접변 운동로가 커짐에 따라 순간 회전 중심이 발생되었고 Fig.13-2에서 step 6까지는 일정한 점을 중심으로 회전이나 접변운동로가 진행됨에 따라 직선적 이동 현상을 나타냈다. 접변축에 대해서는 지금까지 kinematic 접변축, 다수접변축¹⁵⁾^{16), 24)} 임의 접변축⁴⁰⁾ 및 접변축 불신자⁹⁾에 이르기까지 여러 학자들에 의해 논란되어 왔다.

성장과 발육의 측면에서 출생시 측두골의 관절와는 평편하고 하악골과 유사한 조직으로 되어 있으나 유아기에 이루어지는 호흡, 수유, 연하 등의 생리적 기본 운동인 접변 운동에 의해 몇 개월 후 관절돌기가 된 부위의 전방에선 연골성 골형성이 이루어지고 관절와가 될 부위에선 파골세포성 골흡수가 발생하여 하악 과두가 관절와에 순응하게 된다고 하여 접변 운동이 관절 형성의 기본으로 생각되며 접변 운동이 기능적 실패라는 점에서 접변 운동의 생리적 의의를 찾아볼 수 있다.

본 실험에서도 접변 운동 초기에는 접변운동이

발생된다는 사실이 인정되었으나 순간 회전축의 이동 양상이 나타남에 따라 지금까지 최후방 접변 운동은 항상성이며 재현가능한 단 하나의 기계적 접변축을 갖는다는 사실에 의문이 제기되는 바, 그 이유는 Moss²⁹⁾가 주장한 바와같이 과두의 관절면이 완전한 구형이 아니고 타원형이기 때문에 축 폐선 (evolute) 을 형성하는 무수한 순간회전축을 형성하면서 발생되기 때문에 추정되며 또 다른 이유로 최후방위로 압박을 가하면서 접변 운동을 유도하여 접변축을 결정하였는 바, 중심위는 과두와 관절원판이 동시에 최상방에 위치하며 그러한 위치에서 과두는 순수한 회전 운동을 한다는 학설¹⁷⁾에 비추어 최후방위에서 최상방위로 공간이 발생되어 과두와의 후방에서 상방으로 활주와 동시에 회전 운동이 발생되기 때문에 상방으로 회전중심이 이동되는 것으로 사료된다.

한편 접변운동로를 기준으로 kinematic 접변축을 역산하여 이미 결정된 kinematic 접변축을 확인한 결과 그 위치가 한점으로 일치하지 않고 5 mm반경 이내에서 위치가 변경하여 회전하는 것으로 보아 단 하나의 kinematic 접변축 보다는 다수의 접변축이 발생하였던 것으로 생각되나 kinematic 접변축 수와 위치의 결정을 위해서는 두점의 이동 양상에 따른 순간 회전 중심 결정이 필요하였다.

하악골운동 기록 장치의 신뢰성을 검증하기 위해 visitrainer에 의한 경계운동을 최소자승법에 의한 회전운동으로 가정하여 수학적 모델의 매개 변수를 결정 분석한 결과 대단히 큰 반경을 지닌 회전 운동이거나 회전운동을 무시할 수 있는 1차 함수의 직선으로 나타나 하악골운동기록 장치와 다른 차이를 나타내었다.

이러한 이유로는 수학적 모델 결정에 따른 좌표 대입시 Visitrainer를 이용한 경우 경계운동이 명확한 선으로 나타나지 않아 기구의 특성에 따른 좌표 결정이 어려웠으며 이러한 기구 사용시 전자력 등에 의한 방해요소를 예상할 수 있기 때문에 본 실험의 하악골 운동 기록 장치에

의한 기록과 수치적으로는 비교할 수 없으며 또한 후방 경계운동 묘기시 visitrainer와 본 실험의 하악골운동기록 장치의 운동 기록시 측정 시간 및 장소 등과 같은 외부의 조건의 차이와 최후방위유도시 동일한 조건을 부여하지 않았기 때문에 사료된다.

그러나 본 연구에서 제시된 실험 방법은 하악골의 습관적 개폐운동과 접변운동을 컴퓨터 프로그램에 의해 수학적 모델로 고안하기 위해서는 운동로의 좌표 결정시 임의 결정보다는 하악골운동과 동시에 3차원적으로 좌표를 결정할 수 있는 기구가 고안되고 다수의 대상자를 이용한 통계학적 연구와 이에따른 컴퓨터 프로그램 개발을 위한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

악관절 운동학의 임상적 응용을 위해서는 하악골 운동의 생체 공학적인 이해가 필요하며 특히 기본적인 하악골의 활주와 회전 운동에 따른 회전 중심의 결정이 요구된다. 이러한 하악골 운동의 순간 회전 중심을 결정하고 kinematic 접변축의 존재를 확인하기 위해 하악골운동 기록 장치를 고안하여 임상적으로 악관절 및 교합 장애가 없다고 생각되는 정상적인 실험대상자에서 습관적 개폐 운동과 후방 경계 접변 운동로를 기록하였다. 이 운동로에 따른 수학적 모델을 고안하고 컴퓨터 프로그램에 의해 kinematic 접변축과 순간회전 중심을 산출하고 하악골 운동을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 습관적 개폐 운동로의 수학적 모델은 $Y = 0.11x^2 + 0.66x + 3.09$ 의 함수이며 후방 경계 운동중 접변운동로는 $Y = 0.04x^2 + 0.21x + 3.71$ 로써 일정한 하나의 kinematic 접변축을 구할 수 없었다.

둘째, 하악골의 습관적 개폐운동로의 초기 운동은 접변축 후하방에서 반경이 대단히 큰 회전 운동이거나 거의 직선 운동 양상으로 추정된다.

셋째, 순간회전 중심은 하악골의 활주 운동에

따라 회전 반경이 짧아지며 최대 개구 후반부에서부터 어느 한점을 중심으로 회전축이 일정하다가 전상방으로 이동하였다.

넷째, 개폐 운동에 따른 종말 접면축점의 이동 형태는 관절 들기와 유사한 형태를 보였다.

참고 문헌

1. 김춘호 : “접면축 위치 결정시의 정밀성에 대한 연구”, 1986년 석사논문, 조선대학교 대학원.
2. 손동식 : “악관절의 운동학에 관한 방사선학적 연구”, 치과연구, 18:51-55, 1985.
3. Carlsen, D.S.: Craniofacial biology, Ann Arbor, 1981, Center for human growth and development, Univ. of Michigan, pp. 235-269.
4. Nordin, M., Frankel, V.H.: Basic biomechanic of the skeletal system, Phila. Lea & Febiger, pp. 113-128, 1980.
5. Thomas, J.R.G.B.: Calculus and analytic geometry, 4th ed. Addison-Wesley Publ. Co., 1972, p. 475.
6. Ahlgren, J.G.A., Ingervall, B.F. and Thilander, B.L.: “Muscle activity in normal and post normal occlusion”, Am. J. Orthod, 64: 445-456, 1973.
7. An, K.N., Chao, E.Y.S.: “Kinematic analysis of the human movement”, Abstracts Biomed. Eng. Soc. Symp., 38-39, 1984.
8. Andrew, J.G.: “On the specification of joint configuration and motions”, J. Biomech., 17: 155-158, 1984.
9. Beck, H.O.: “A clinical evaluation of the arcon concept of articulation”, J. Prosth. Dent., 9: 409-421, 1959.
10. Bennet, N.G.: “A contribution to the study of the movements of the mandible”, Proc.
11. Blackwood, H.J.J.: “Pathology of the T.M.J.”, J.Am. Dent. Assoc., 79: 105-112, 1969.
12. Boswell, J.V.: “Practical occlusion in relation to complete denture”, J. Prosth. Dent., 1: 307-321, 1951.
13. Bryant, J.T., Wevers, H.W. and Lowe, P.J.: “One parameter model for error in instantaneous center of rotation measurement”, J. Biomech., 17: 317-323, 1983.
14. Clapp, G.W.: “There is no usable vertical opening axis in the mandible”, J. Prosth. Dent., 2: 147-158, 1952.
15. Collett, H.A.: “The movements of the temporomandibular joint and their relation to the problems of occlusion”, J. Prosth. Dent., 5: 486-496, 1955.
16. 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: 29-33, 1979.
17. Dawson, P.E.: “Optimum T.M.J. condyle position in clinical practice”, Int. J. Period. & Resto. Dent., 3: 11-20, 1985.
18. Dolwick, M.F., Katzberg, R.W. and Helms, C.A.: “Internal derangements of the T.M.J.: Fact or fiction”, J. Prosth. Dent., 49: 415-418, 1983.
19. Frank, L.: “The opening axis of the jaw”, Dental Digest, 16-19, 1956.
20. 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.
21. Grant, P.G.: “Biomechanical significans of the instantaneous centre of rotation: The human temporomandibular joint”, J. Biomech, 6: 109-113, 1973.
22. Gysi, A.: “The problem of articulation”, Dent. Cosmos, 51: 1-12, 1910.
23. Kawata, T., Kishigani, H., Yamashita, S., Dyama, K., Toda, K. and Uemura, S.: “Mandbular movement in Angle III malocclusion in the mixed dentition”, The Angle Orthodontist, 52: 61-68, 1982.
24. Kornfeld, M.: “The problem of function in restorative dentistry”, J. Prosth. Dent., 5: 670-676, 1955.
25. Koski, K.: “Axis of opening movement of the mandible”, J. Prosth. Dent., 12: 888-894, 1962.
26. Kurth, L.E., Feinstein, I.K.: “The hinge axis of the mandible”, J. Prosth. Dent., 1: 327-332, 1951.
27. Lebao, R.: “Value of the hinge axis recorded”, J. Prosth. Dent., 5: 623-625, 1955.
28. McLean, D.W.: “Pathologic occlusion: A

- major clinical problem", *J. Am. Dent. Assoc.*, 31: 1587-1597, 1944.
29. Moss, M.L.: "A functional cranial analysis of centric relation", *Dent. Clin. North Am.*, 19: 431-442, 1955.
 30. 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.
 31. Page, H.L.: "lexicograph, hinge opening, hinge closing and centric", *Dent. Digest*, 61: 17, 1955.
 32. Pajabi, M.M., Goel, V.K., Walter, S.D., and Schick, S.: "Error in the center and angle of rotation of a joint: an experimental study", *J. Biomech*, 104: 232-237, 1982.
 33. Ramey, M.R., Yang, A.T.: "A simulation procedure for human motion studies", *J. Biomech.*, 14: 203-213, 1981.
 34. Robert, D., Phil, M.: "The etiology of the temporomandibular joint dysfunction syndrome", *Am. J. Orthod.*, 66: 498-515, 1974.
 35. Shanahan, T.E.J., Leff, A.: "Mandibular and articulator movements", *J. Prosth. Dent.*, 8: 945-949, 1959.
 36. Sheppard, I.M.: "The effect of hinge axis clutches on condyle position", *J. Prosth. Dent.*, 8: 260-263, 1958.
 37. Sicher, H.: "Functional anatomy of the temporomandibular articulation (Abstr.)", *J. Dent. Res.*, 16: 339-340, 1937.
 38. Smith, R.J.: "Functions of condylar translation in human mandibular movement", *Am. J. Orthod.*, 88: 191-202, 1985.
 39. Stuart, C.E.: "Use of the stuart articulator in obtaining optimal occlusion", *Dent. Clin. North Am.*, 23: 259-270, 1979.
 40. Teteruck, W.R., Lundeen, H.G.: "The accuracy of an ear facebow", *J. Prosth. Dent.*, 16: 1039-1046, 1966.
 41. Throckmorton, G.S., Finn, R.A. and Bell, W.H.: "Biomechanics of differences in lower facial height", *Am. J. Orthod.*, 77: 410-419, 1980.
 42. Trapozzano, V.R., Lazzari, J.B.: "The physiology of the terminal rotational position of the condyles in the temporomandibular joint", *J. Prosth. Dent.*, 17: 122-133, 1967.
 43. Walsh, J.P.: "The temporomandibular joint with reference to Costen's syndrome", *New Ireland Dent. J.*, 44: 240-257, 1948.

—Abstract—

**A Study on the Determination of Instantaneous Centre of
Rotation in the Mandibular Movement**

Keun Su Kang, D.D.S., M.S.D., Chang Keun Yoon, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Chosun University.

For the determination of instantaneous centre of rotation in the mandibular movement, the habitual opening path was recorded on the sagittal tracing plate by a Gnathorecorder attached on the lower anterior teeth which was designed for this study. The opening path was demonstrated mathematically and the instantaneous centre of rotation in the opening path were calculated and plotted by computer programs, and then a computer graphic movement of the mandible was obtained according to the opening path. The hinge path of posterior border movement was graphed by the Gnathorecorder as well and demonstrated mathematically. This hinge path was compared with the same obtained by Visitrainer to prove a reliability of the Gnathorecorder. The results obtained from this study were as follows.

1. The habitual opening path and hinge path obtained from the Gnathorecorder movement were expressed mathematically as follows: $y = 0.11x^2 - 0.66x + 3.09$ (equation of opening path), $y = 0.04x^2 + 0.21x + 3.71$ (equation of hinge path), and a kinematic hinge axis was not shown in the equation of hinge path.
2. The early habitual opening movement of the mandible demonstrated almost a straight opening path or an arc motion with the larger radius and its centre of rotation moved parallelly in the more rear and lower position than a kinematic hinge axis.
3. Instantaneous centre of rotation occurred along with the translation of the condyle, and mandible was rotated around an axis in the close to the maximum opening and then moved toward the forward and upward position.
4. There were some similarities between the articular eminence and the movement pattern of a special point which was the kinematic hinge axis.