

B-splint 법에 의한 순간 회전 중심으로 결정과 하악운동에 관한 연구

조선대학교 치과대학 보철학교실

강 동 완 · 계 기 성

- 목 차 -

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

I 서 론

관절 운동학의 연구 방법의 하나로 이용되는 순간 회전 중심의 결정은 관절부의 운동 양상을 생체공학적으로 분석하는 것으로서 정상적인 순간 회전 중심을 갖는 경우는 관절부의 과두가 접촉면에 압박을 주지 않고 활주 운동의 방향이 결정되어 이동되는데 비해 비정상적인 회전 중심이 발생하는 경우는 관절부의 접촉면에 압박을 가하면서 운동의 방향이 변형되거나,^{13,25,44)} 관절 원판의 파열, 탈구 장애등이 유발되기 때문에⁶⁰⁾ 견갑관절,⁵⁶⁾ 요 척골관절,¹⁷⁾ 주관절,^{21,39)} 수지관절,²³⁾ 슬관절,^{12,25,38,56)} 척추관절부^{15, 49,53,64)}의 병리상태를 진단하는 방법으로써 순간 회전 중심의 결정과 분석이 임상적으로 적용되어 왔다.

치과 분야에서 하악 운동시 회전축 위치를 결정하거나 하악두 운동등의 분석은 하악 운동을 재현하는 교합기의 제작과 악관절과 하악 운동을 연구하기 위한 방법으로 이용하여 왔으나^{1,50,55, 63)} 운동 역학의 진단학적 측면에서 측두하악 관절부의 생체공학적 연구는 부족하였다.^{1,2,10,65)}

지금까지 순간 회전 중심의 결정에 대해 Bennett¹¹⁾는 회전 중심이 연속적으로 이동된다고 언급한 이래 Gysi²⁸⁾는 2차원적인 하악 운동의 분석에서 입시 회전축 이라는 용어를 사용했으며 Grant²⁷⁾는 회전 중심의 순간 이동에 따른 축점과 저작 근육의 개폐기능에 대한 연구를 통하여 측두 하악관절 분야의 연구에서 순간 회전 중심의 이용이 중요하다 보고하였고 Kornfeld³⁴⁾는 회전 중심은 순간적으로 적은 운동의 변화에 계속적으로 이동된 다하였고 Moss⁴⁰⁾는 순간 회전 중심을 연결한 축폐선은 하악두 모양과 유사하다 했으며 Santos⁵⁴⁾는 순간 회전 중심 위치가 하악두 밖에 위치한다고 보고 하였다. 그러나 순간 회전 중심의 위치를 분석하여 하악 운동을 재현하거나 관절부의 병리적 상태를 운동역학적으로 진단하고자 하는 응용은 미비하였다.^{1,2,3,5,7,65)}

순간 회전 중심을 결정하는 한 방법으로써 정형의과 분야에서는 관절부의 운동에 따라 방사선 사진을 반복 촬영한 후 얻어진 사진상에서 결정된 해부학적 두점의 이동에 따른 각 운동선에 수직 이동분선을 그어 만나는 점을 순간 회전 중

심으로 결정하는 Rouleaux 분석법이 이용되어 왔으나 Rouleaux 분석법의 단점으로써^{13,30,47,60)} 결정된 순간 회전 중심의 위치 오차와 다양성 등이 논란되어 왔다. Rouleaux 법을 이용하는 경우 Fisher²²⁾ Frankel²⁵⁾ 및 Smidt⁵⁸⁾는 순간 회전 중심로는 부드러운 곡선을 지닌 운동으로 재현된다고 한 반면 Blachariski,¹²⁾ Cossette,¹⁵⁾ Dimnet,¹⁷⁾ Harding,³⁰⁾ Soudan⁶⁰⁾ 및 Walker 등⁶²⁾은 순간 회전 중심은 분산적 성질을 가져 운동의 변화가 다양하고 이러한 오차 발생은 운동 좌표의 기록과 좌표 결정시 오차, 운동량의 크기 등에 좌우된다고 보고하였다. 이러한 이유 때문에 Rouleaux 방법을 이용할 경우는 운동량을 10° 이상 크게 하거나 두점의 좌표 보다는 세점의 좌표를 이용한 것이 더욱 정확하다 하였다.¹⁷⁾

순간 회전 중심을 결정하는 다른 방법으로 Woltring⁶⁶⁾은 planer rigid body model을 제시 하였고 윤 등⁶⁾은 planer rigid body model은 전통적인 Rouleaux법에 비해 회전 중심의 표준편차가 적어 더욱 정확하다 하였으며 강 등³⁾은 planer rigid body model에 의한 순간 회전 중심 결정 방법과 하악 운동에 대해 보고하였다.

또한 결정된 순간 회전 중심의 분산 성질을 축소시키고 위치 오차를 감소시키기 위한 방법으로 곡선적합법이 응용되어 왔었는데 Dimnet 등^{17,18)}과 Soudan 등⁶⁰⁾은 순간 회전 중심 결정시 입력 데이터에 대해 곡선적합법 (curve fitting)을 적용하여 데이터의 오차에 따른 영향을 감소시키거나 순간 회전 중심 결정후 곡선적합법으로 보간하여 오차를 감소시킬 수 있기 때문에 곡선적합법은 순간 회전 중심 및 순간 회전 중심로 결정시 발생 오차의 감소를 위해 유용하다고 보고하였다.

순간 회전 중심 이용에 의한 하악 운동 분석의 경우 손 등⁷⁾은 두개 사측 투사법(transcranial projection)에 나타난 해부학적 두점을 임의로 결정하여 Rouleaux법에 의해 순간 회전 중심을 결정하였으나 해부학적인 두점의 좌

표 결정시 오차, 운동 좌표의 부정확성, 도해에 따른 부정확성^{15,17,21,29)} 등의 문제점에 따라 많은 오차가 야기될 수 있었으며 김 등⁵⁾의 연구에서도 개폐운동 재현과 순간 회전 중심 결정에 있어 오차가 인정되었다.

이에 따라 본 연구는 습관적 개폐 운동시 얻어진 운동점의 좌표를 곡선적합법의 하나인 B-spline 법으로 보간한 후 planer rigid body model의 순간 회전 중심을 결정하는 알고리즘(algorithm)으로 순간 회전 중심로를 구성하고 하악 운동을 재현하여 분석한 결과 다소의 지점을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 연구대상 및 방법

A. 연구 대상

구강악계 검사를 통하여 측두 하악 장애 및 개폐구 운동시 좌우 변위가 없고 하악 운동이 임상적으로 정상이라고 판단되는 23 ~ 25세의 치과대학생 20명을 연구 대상으로 하였다.

B. 연구 방법

1) 개폐구 운동 기록장치 고안

습관적 개폐 운동을 기록하기 위한 장치 (Gnathorecorder)는 두부 X선 규격사진의 표준위치 결정을 위해 세개의 구멍을 미리 뚫어 놓은 금속판이 부착된 eye glass frame, 하악 resin open clutch 및 resin open clutch의 수평 stud에 toggle에 의해 고정되는 자석이 부착된 두개의 기록 연필로 구성되었다.

(Fig.1)

2) 운동 기록장치 장착

resin open clutch는 중심 교합시 상악 치아에 접촉되지 않도록 하악 치아의 순협면에 부착시킨 후(Fig.2) eye glass frame에 부착된 금속판에 기록지를 부착시켜 대상자의 안면과 두부에 고정하였

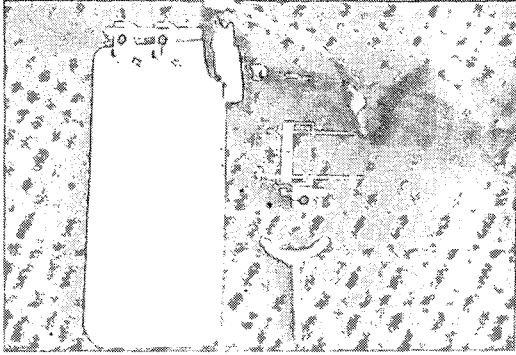


Fig. 1. Components of the Ganthorecorder; sagittal metal plate with eye glass frame, two pencil tips with magnetics and toggle, lower resin open clutch.



Fig. 2. Lower resin open clutch attached to lower teeth.

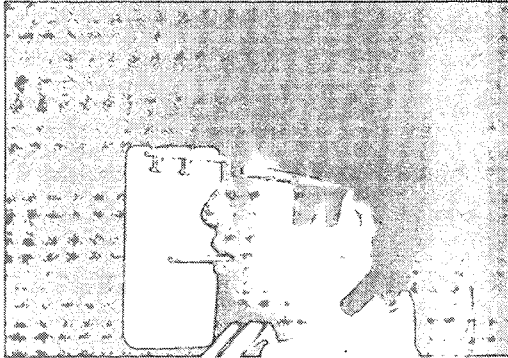


Fig. 3. Sagittal metal plate with eye glass frame fastened to the face of a subject.

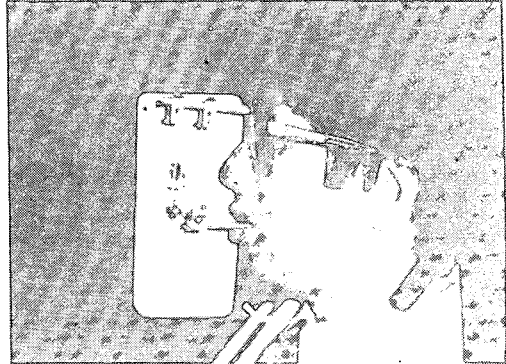


Fig. 4. Set-up of the Ganthorecorder.

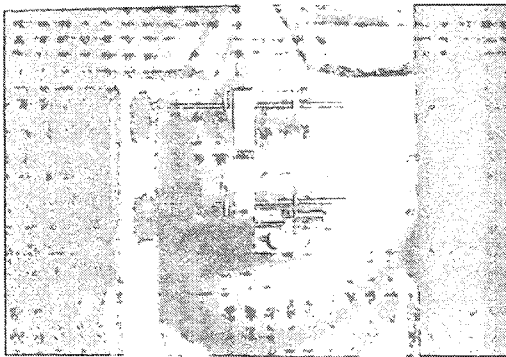


Fig. 5. View of the pencil tips contacted to the sagittal metal plate with paper as a starting point of the opening movement.

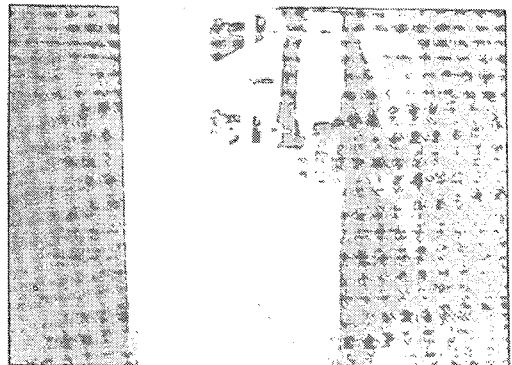


Fig. 6. Recording of the opening and closing paths on a paper.

Table 1. Cephalometric landmarks determined on the traced paper

Anatomical structure	Sum. of landmark	No. of landmark
Skull roof and base	21	1 - 21
Palatal bone	12	22 - 33
Upper central incisor	14	34 - 47
Upper first molar	12	48 - 59
Mandible	25	60 - 84
(condyle)	(9)	(64 - 72)
Lower central incisor	10	85 - 94
Lower first molar	15	95 - 109

Table 2. Data coordinates of target point at the opening and closing paths

target point	Opening path				Closing path			
	A path(X,Y)		B path(X,Y)		A path(X,Y)		B path(X,Y)	
1	34.97	138.96	38.27	106.85	61.76	51.54	83.47	28.36
2	36.07	126.83	41.44	95.98	54.05	61.00	72.45	36.40
3	37.28	115.11	44.43	84.76	47.70	70.79	64.14	44.32
4	39.23	103.59	48.99	74.11	43.93	80.99	58.23	53.05
5	41.40	92.28	53.20	63.53	42.23	92.47	53.93	63.74
6	44.87	81.28	59.08	53.67	39.86	103.71	49.71	74.26
7	47.65	70.74	64.03	44.17	38.76	115.73	46.70	85.13
8	54.05	61.00	72.45	36.40	37.46	127.15	42.88	96.20
9	61.76	51.54	83.47	28.36	34.97	138.96	38.27	106.85

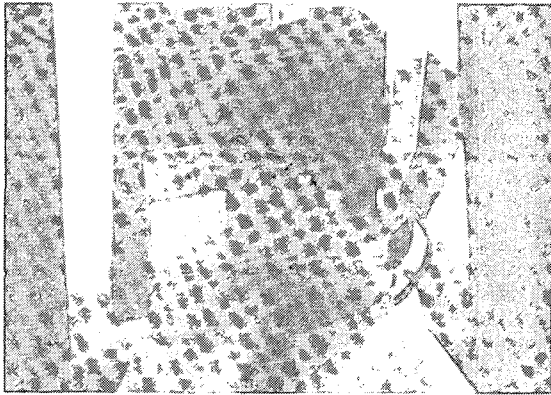


Fig. 7. Cephalogram - taking of a subject with eye glass frame.

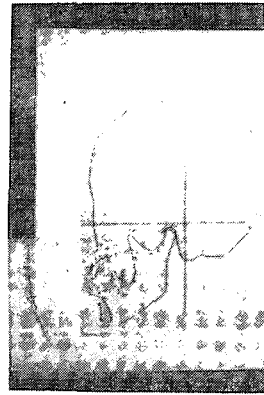


Fig. 8. Cephalometric landmarks on the traced paper and the target points of the opening and closing movements on the record paper.

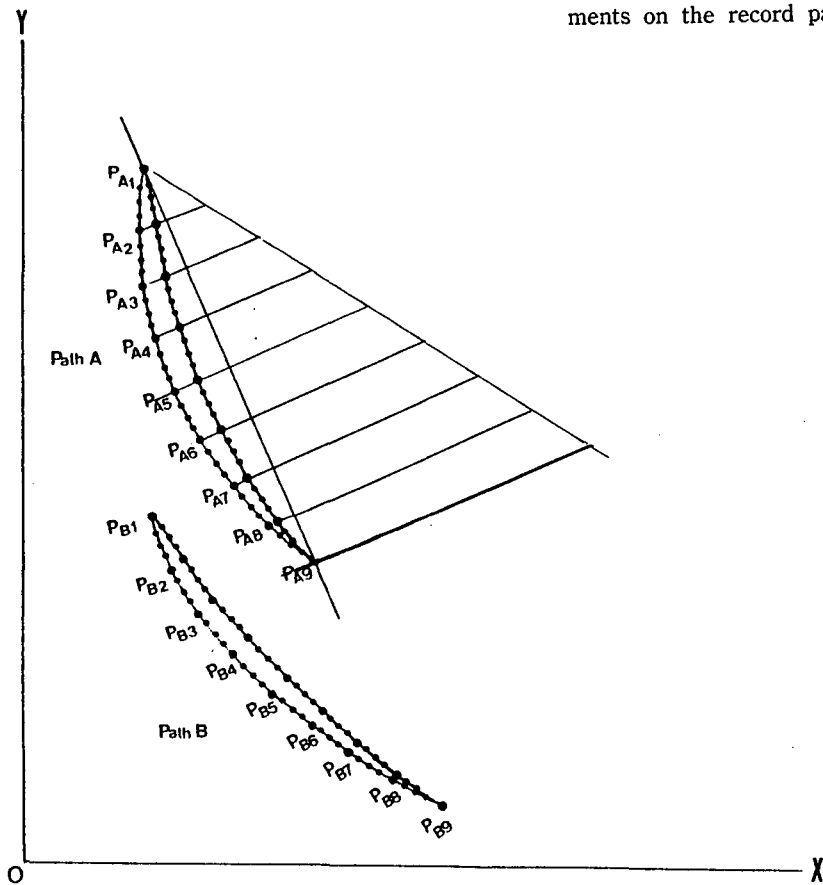


Fig. 9. Determination of 9 - target points on the opening and closing paths and fitting a B - spline method into 9 - target points.

다. (Fig. 3)

resin open clutch의 수평 stud에 자석이 부착된 두개의 기록 연필이 부착된 toggle을 고정하고 운동 기록전 전방, 상방, 측방에서 균형있게 재조정하였다.

(Fig. 4)

3) 습관적 개폐 운동기록

대상자의 중심 교합시 두개의 기록연필 끝에 부착된 자석에 의해 기록연필이 금속판에 접촉되어 기록된 점을 시작점으로 하여 (Fig. 5) 대상자로 하여금 최대 개구시켜 다시 폐구시킴으로써 두개의 기록 연필에 의해 방안지상에 습관적 개폐 운동로가 기록 되게 한다. (Fig. 6)

4) 순간 회전 중심 결정 방법

(1) 습관적 개폐구 운동로 및 하악골과 두개의 해부학적 좌표 결정

습관적 개폐구 운동로가 인기된 금속판과 이를 두부에 고정시키기 위해 이용되었던 eye glass frame만을 부착한대 상자에게 중심 교합시의 두부 X-선 규격 사진을 촬영하여 (Fig. 7) 얻어진 사진상의 세점과 방안지 상의 세점을 일치시킨 후 두부 X-선 규격사진을 묘사하여 제 8도에서와 같이 두개 상하부, 경구개, 상하중절치 및 제 1 대구치, 하악골위의 해부학적 위치에 대한 부위별 좌표 (Table. 1)를 결정하였다.

개폐구 운동로의 경우 제 9도에서와 같이 중심 교합점과 최대 개구점을 직선으로 연결한 량을 8등분하여 얻어진 각점에 수선을 그어 PA 점의 순간 운동점을 먼저 결정한 후 PA 점과 PB점 간의 거리를 콤파스에 고정 시킨후 8등분된 PA 점의 순간 운동점에 대응되는 PB 점의 순간 운동점을 결정한 다음 18AT computer와 Summagraphic digitizer를 이용하여 운동점 및 묘사된 해부학적 점에 대한 X, Y좌표를 결정하였다.

(Table. 2)

(2) 순간 운동점의 B-spline법 적용

제 9도에서와 같이 개폐구 운동시 얻어진 9개의 PA점과 PB점의 순간 운동점을 B-spline법에 의한 곡선적합시킨 후 각 순간 운동점의 간격을 4등분시켜 개구 운동시 PA점과 PB점의 순간 운동점 각 32개와 폐구운동시 순간 운동점 각 32개를 결정하였다.

(3) 순간 운동의 순간 회전 중심 및 중심로 결정을 위한 수학적 planer rigid body model

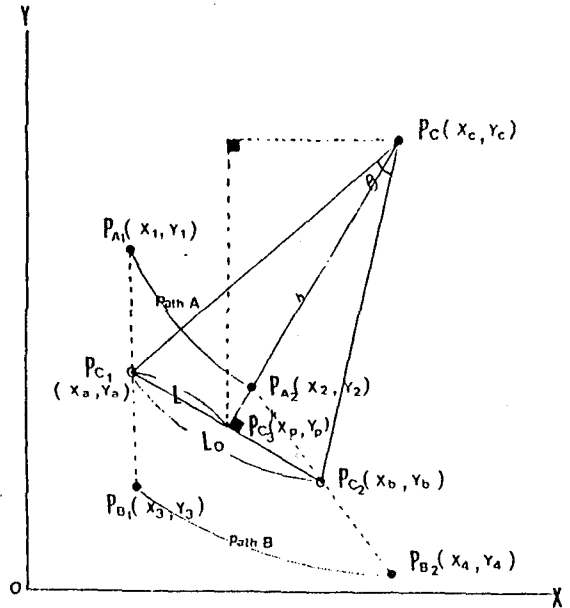


Fig. 10. Mathematical planer rigid body model used for the determination of ICR

Fig. 10에서 $P_{c1}(X_a = \frac{X_1 + X_3}{2}, Y_a = \frac{Y_1 + Y_3}{2})$, $P_{c2}(X_b = \frac{X_2 + X_4}{2}, Y_b = \frac{Y_2 + Y_4}{2})$ 는 운동 A와 B의 좌표를 포함하고 있는 강체면에서 일정한 거리에 고정되어 있는 점이고, $P_{c3}(X_p = \frac{X_a + X_b}{2}, Y_p = \frac{Y_a + Y_b}{2})$ 도 그 평면상에 일정한 거리에 고정되어 있는 점이다. 강체가 중심 $P_c(X_c, Y_c)$ 에 대하여 회전하면 $P_{c3}(X_p, Y_p)$ 도 동일한 중심을 가지고 회전한다. 따라서 중심은 $P_{c1}(X_a, Y_a)$ 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 $P_{c1}(X_a, Y_a)$ 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

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

$$m = -\frac{1}{m_1} \text{ 이라 하면}$$

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

회전각을 구하기 위해 $\overline{P_{A1} P_{B1}}$ 과 $\overline{P_{A2} P_{B2}}$ 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

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

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

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

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

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

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

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

(4) K상수 결정

순간 회전 중심의 결정에 따라 얻어진 회전 반경과 회전각을 곱하여 K 상수를

결정하였다.

- (5) 하악의 개폐 운동 및 과두 운동 재구성 결정된 순간 회전 중심에 따른 하악의 개폐 운동을 재현하고 하악두의 운동 양상과 하악두의 최상방점이 그리는 궤적을 재구성하였다.

III. 연구성적

1. 습관적 개폐 운동의 순간 회전 중심 및 순간 회전 중심로 분석

개구 초기 최초 순간 회전 중심과 폐구 말기 최후 순간 회전 중심은 제 3표와 제11도에서와 같이 대상자의 65%, 60%에서 하악체 밖 유양 돌기를 중심으로 발생했으나 하악두 내에 존재하는 경우 폐구시에는 대상자의 5%였으나 개구시에는 존재하지 않았다.

개구 말기 최후 순간 회전 중심은 제 4표와 제11도에서와 같이 근돌기 내나 근돌기 전후방에 70%가 위치하고 하악두를 중심으로 한 경우 내방과 후방에 각각 20%, 10%씩 위치하였으나 폐구 초기 최초 순간 회전 중심의 경우 근돌기 내와 근돌기 전후방에 70%, 하악두를 중심으로 내방과 상방에 각각 5%씩 위치하였다.

개구 및 폐구 초기후 순간 회전 중심로의 경우 대상자에 따라 다양한 양상을 나타내어 일정한 형태를 얻을 수 없었으나 순간 회전 중심의 결정 요소인 회전각과 반경을 분석한 경우 반경과 회전각은 반비례하는 양상을 보였고(Fig.12) 반경의 크기에 따라 제 11도에서와 같이 순간 회전 중심로는 심하게 변화하는 양상을 나타내었다. 회전각과 반경을 곱하여 얻어진 K상수의 경우 정상적 개폐구 운동을 지닌 모든 대상자에게서 대체로 균일한 양상을 보였으며 개구운동 초기에 대상자 7과 16에서 다른 대상자에 비해 회전각의 적은 변화에 비해 반경이 크게 증가하는 경우도 있었다.

폐구 운동의 경우 K상수는 개구운동의 역방향으로 대체로 비슷한 양상을 나타냈으나 개구

운동시 대상자 7과 16에서 같은 회전각의 적은 변화에 따른 반경의 증가와는 달리 대상자 16에서만 폐구 운동 말기에 최대 반경을 나타냈다.

2. 하악 운동 궤적의 재구성

습관적 개구 및 폐구 운동에 따른 순간 회전 중심 결정에 따라 하악체의 이동형태를 컴퓨터 그래픽에 의해 재구성하였는데 습관적 개구 운동의 경우 제11도에서와 같이 순간 회전 중심로의 대상자에 따른 차이에 따라 제13도에서와 같이 운동 궤적의 차이를 나타내고 있으나 초기 운동시 제11도에서와 같이 순간 회전 중심이 유양돌기 주변에 발생되거나 제14도에서와 같이 반경이 긴 경우에는 하악두 및 하악체가 하방 이동하였다가 순간 회전 중심의 전방 이동에 따라 하악두가 서서히 전하방으로 이동되고 하악체가 후방으로 이동되는 양상을 나타냈다. (Fig. 13)

최대 개구가 진행되면서 하악두는 전상방 이동하였고 하악체는 수평이동후 후상방으로 운동하였다.

습관적 폐구 운동시에 하악두는 초기 운동에서는 후하방으로 이동되고 하악체는 전상방으로 이동되면서 하악두의 후상방 이동에 따라 하악체의 폐구가 진행되었다.

3. 하악두의 운동 분석

순간 회전 중심의 이동에 따른 하악두의 이동 양상 형태는 제14도에서와 같이 이동의 형태는 개인에 따라 다양한 양상을 나타내고 있으나 악관절 해부학적 구조인 관절 돌기의 전후 모양을 따라 이동하는 모습을 재현하고 있었다.

개구 및 폐구 운동시 하악두의 운동 양상은 K상수의 결정 요소인 회전각과 반경의 상대적 크기에 따라 약간의 차이를 나타내고 있으나 개구 운동시 급하면 폐구 운동시에도 급하였고 개구 운동시 완만하면 폐구 운동시에도 완만한 경사를 나타냈다.

개구 및 폐구 운동시 K상수와 하악두의 관계에서 K상수의 균일한 양상시 회전각이 적고 반경이 증가하는 경우에는 하악두가 하강하거나 전하방으로 활주하는 양상을 나타낸 반면 회전각이 크고 반경이 감소하는 경우에는 하악두는 활

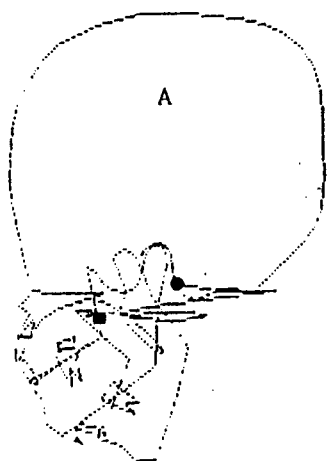
주에 비해 회전되는 양상을 보였다.

Table 3. Position of L.C.R. occurred at the first instant of the opening movement and the last instant of the closing movement(%)

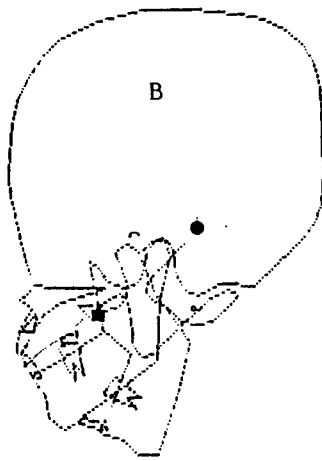
Position	Opening	Closing
In the region of the condyle	none	5
Below the region of the condyle inside the ramus	20	10
Outside the ramus or around the mastoid process	65	60
Anterior to the region of the condyle	15	20
Posterior to the region of the condyle	none	5

Table 4. Position of L.C.R. occurred at the last instant of the opening movement and the first instant of the closing movement(%)

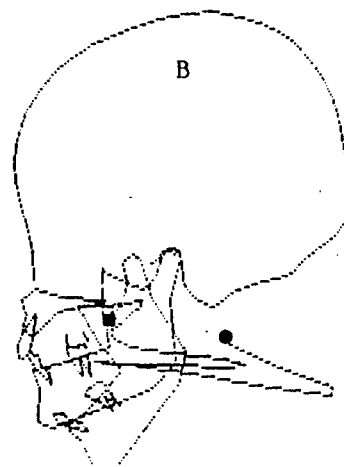
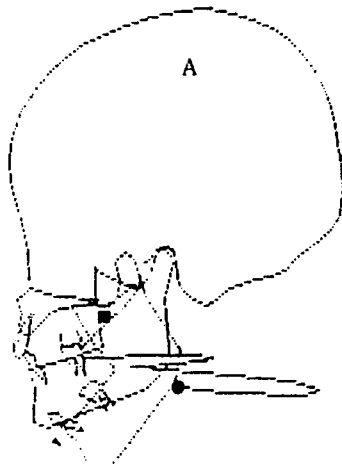
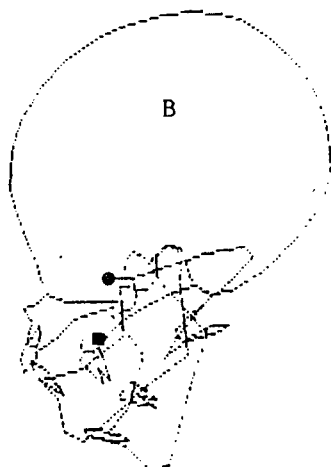
Position	Opening	Closing
In the region of the condyle	20	5
Below the region of the condyle inside the ramus or coronoid process	40	40
Posterior to the region of the condyle	10	25
Above the region of the condyle	none	5
Anterior or posterior to the coronoid process	30	30



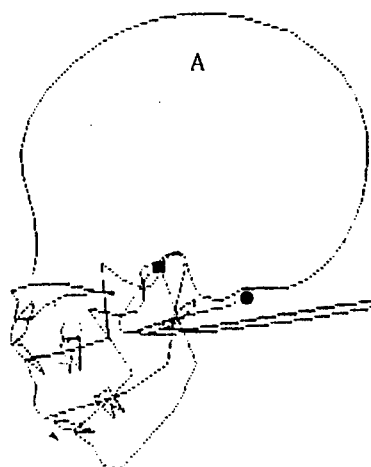
Subject 1



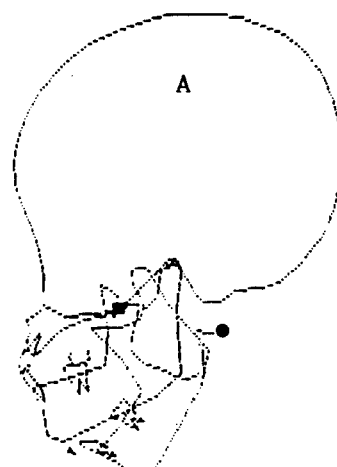
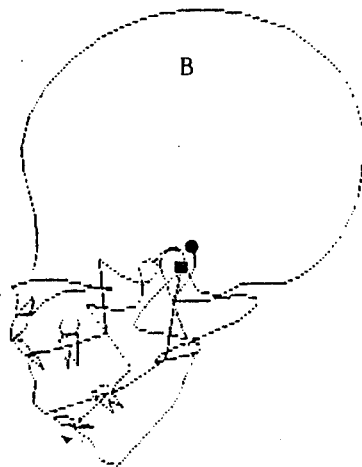
Subject 2



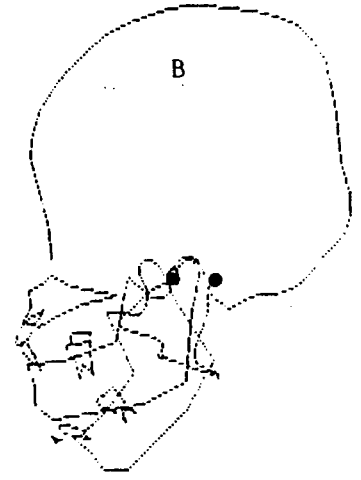
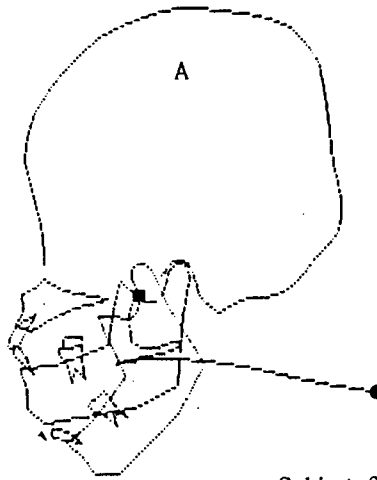
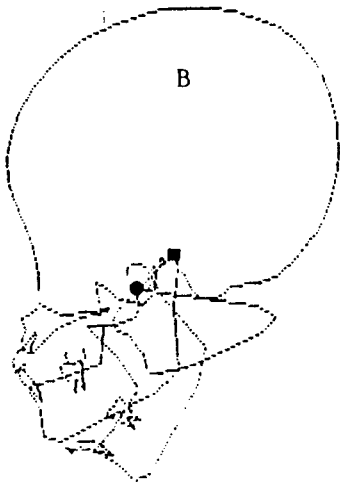
Subject 3



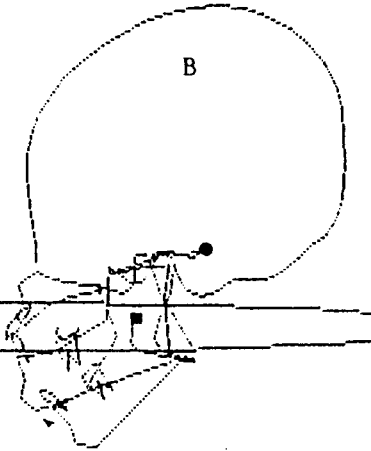
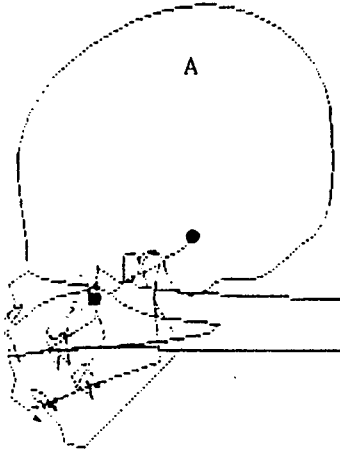
Subject 4



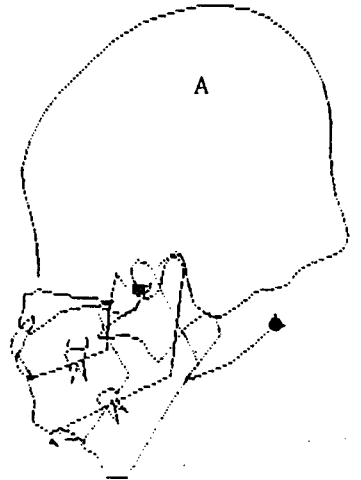
Subject 5



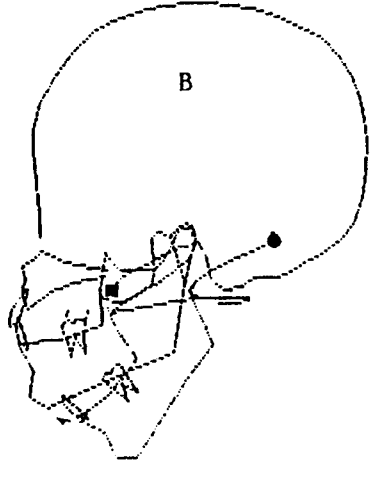
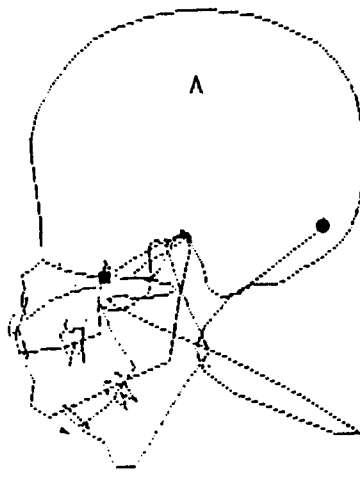
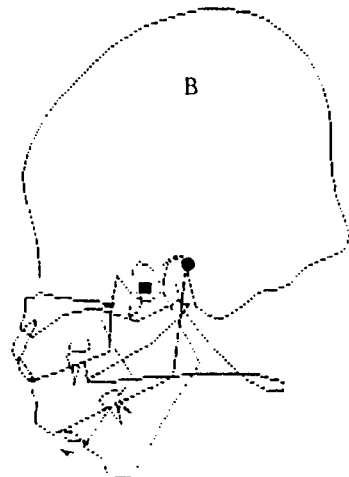
Subject 6



Subject 7



Subject 8



Subject 9

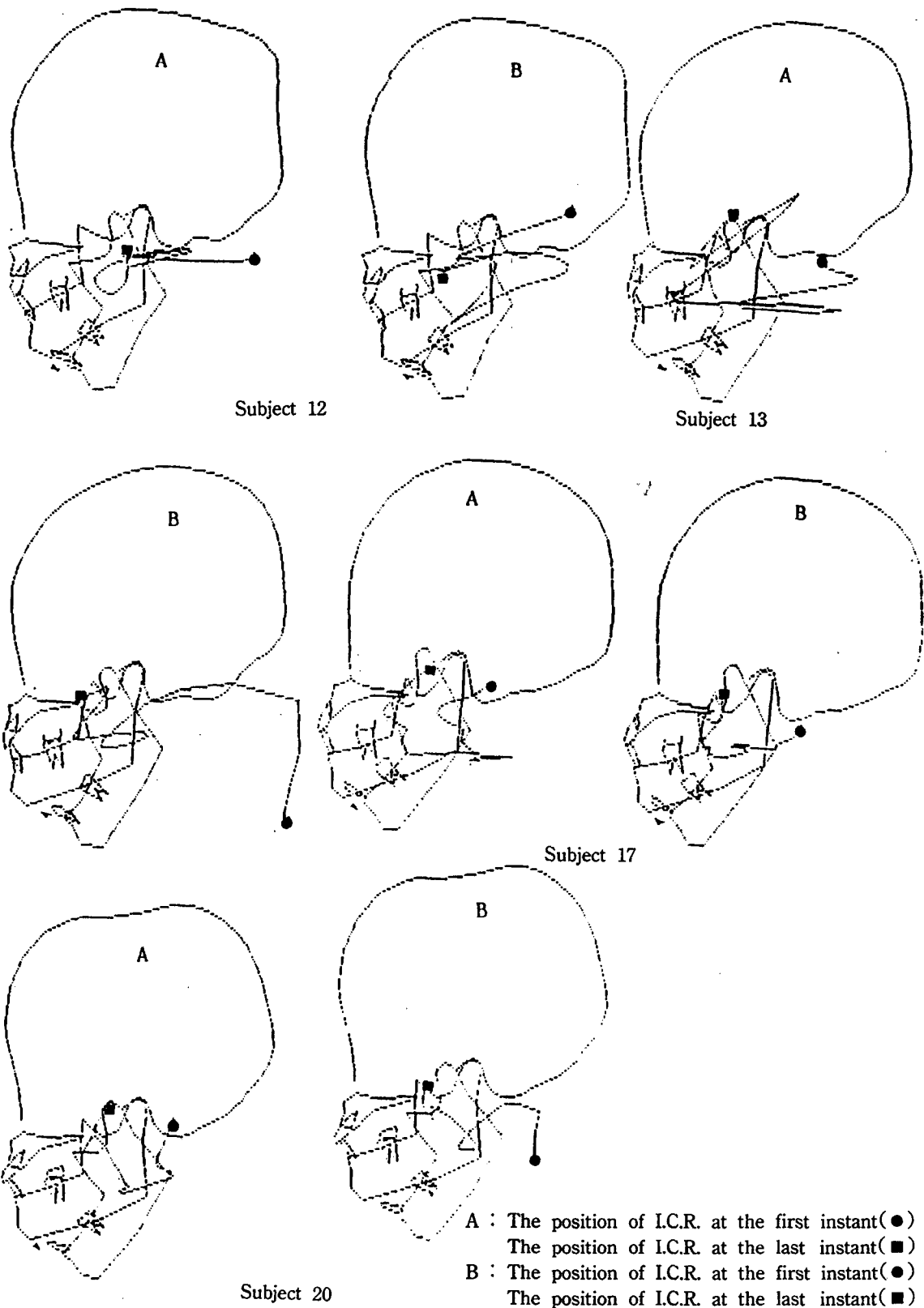


Fig. 11. Reconstruction of I.C.R. pathway at the opening(A) and closing(B) movements.

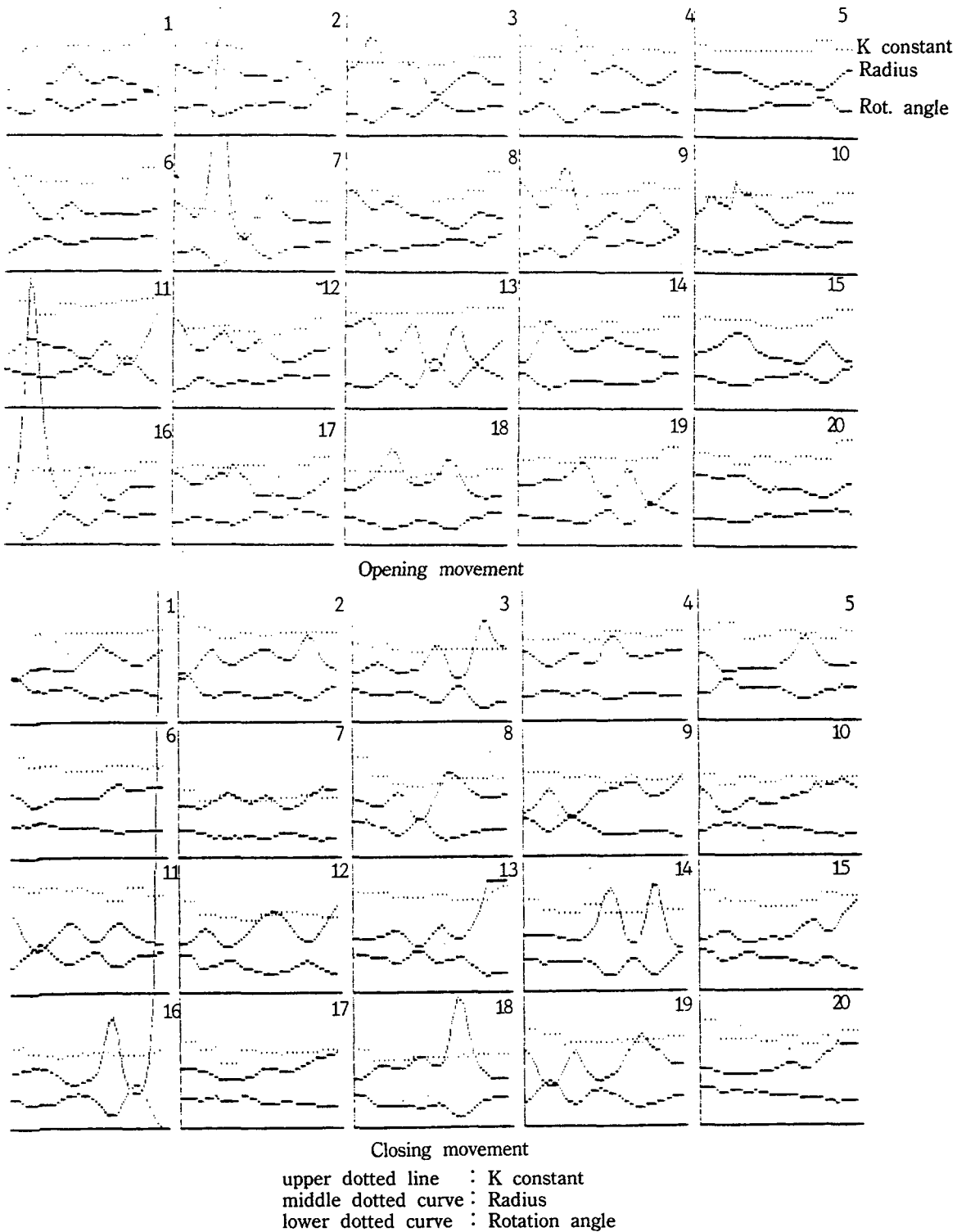
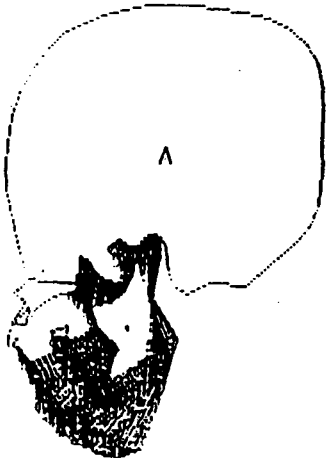
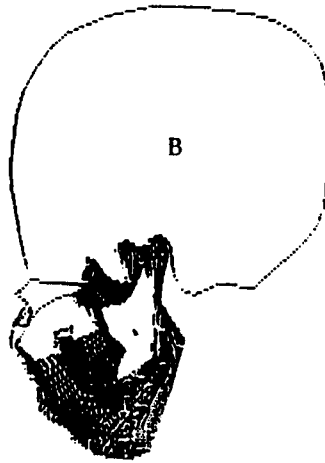


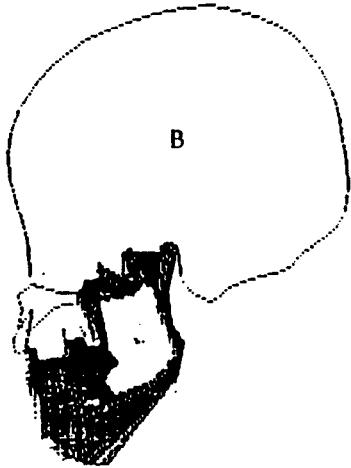
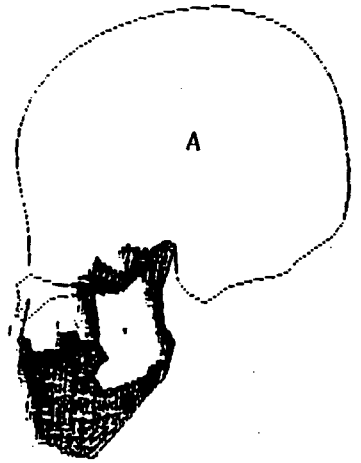
Fig. 12. Correlation of K constant, radius and rotation angle as the determinant factors of I.C.R. and I.C.R. pathway at the opening and closing movements of each subject (1-20).



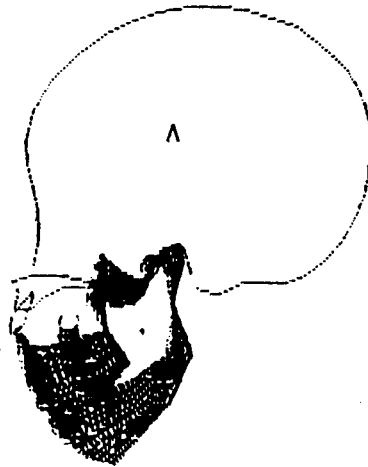
Subject 1



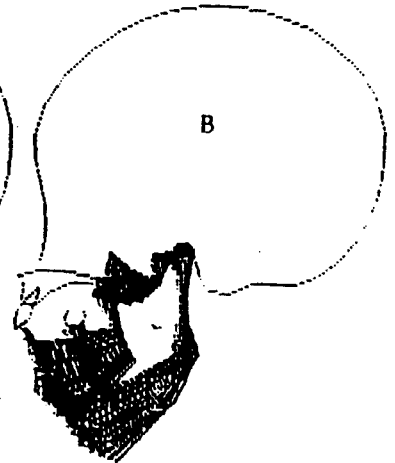
Subject 3



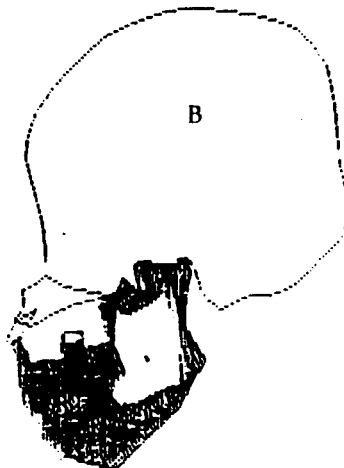
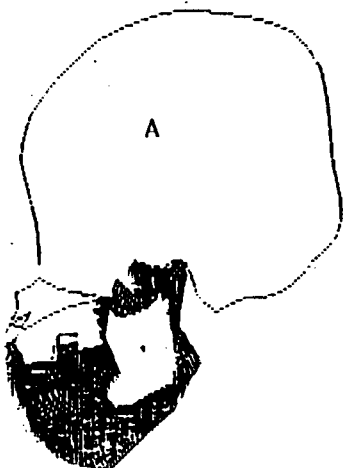
Subject 6

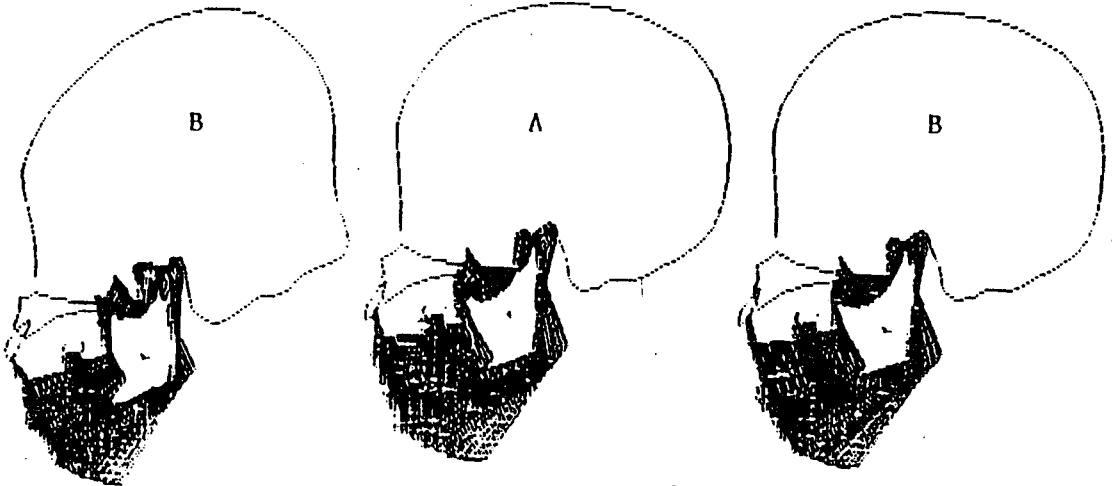


Subject 4

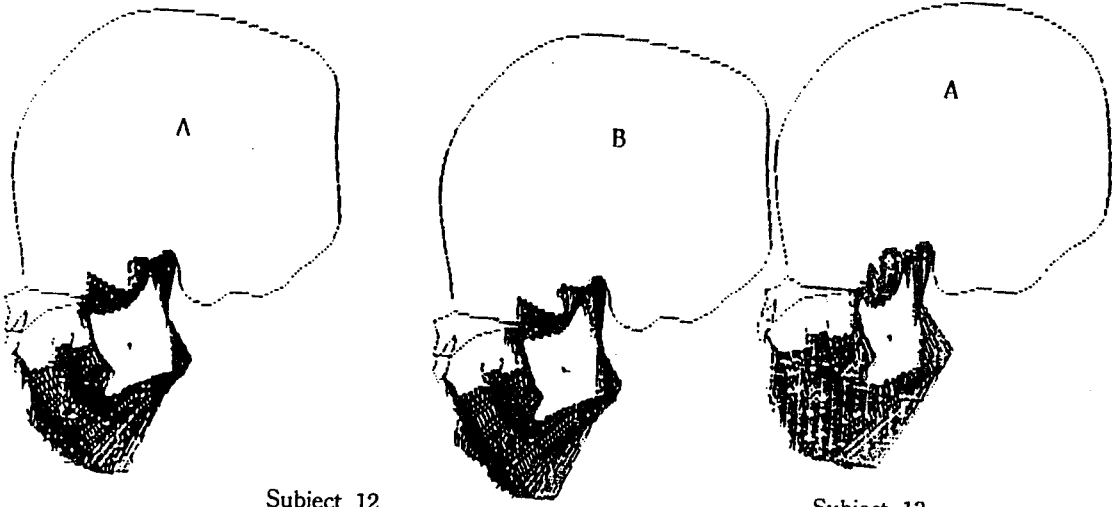


Subject 8



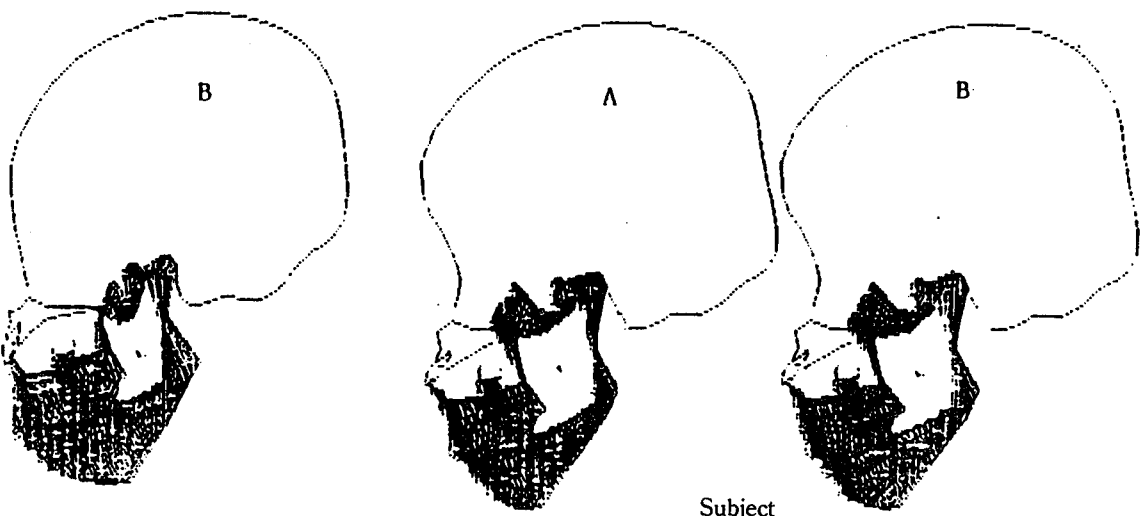


Subject 9



Subject 12

Subject 13



Subject

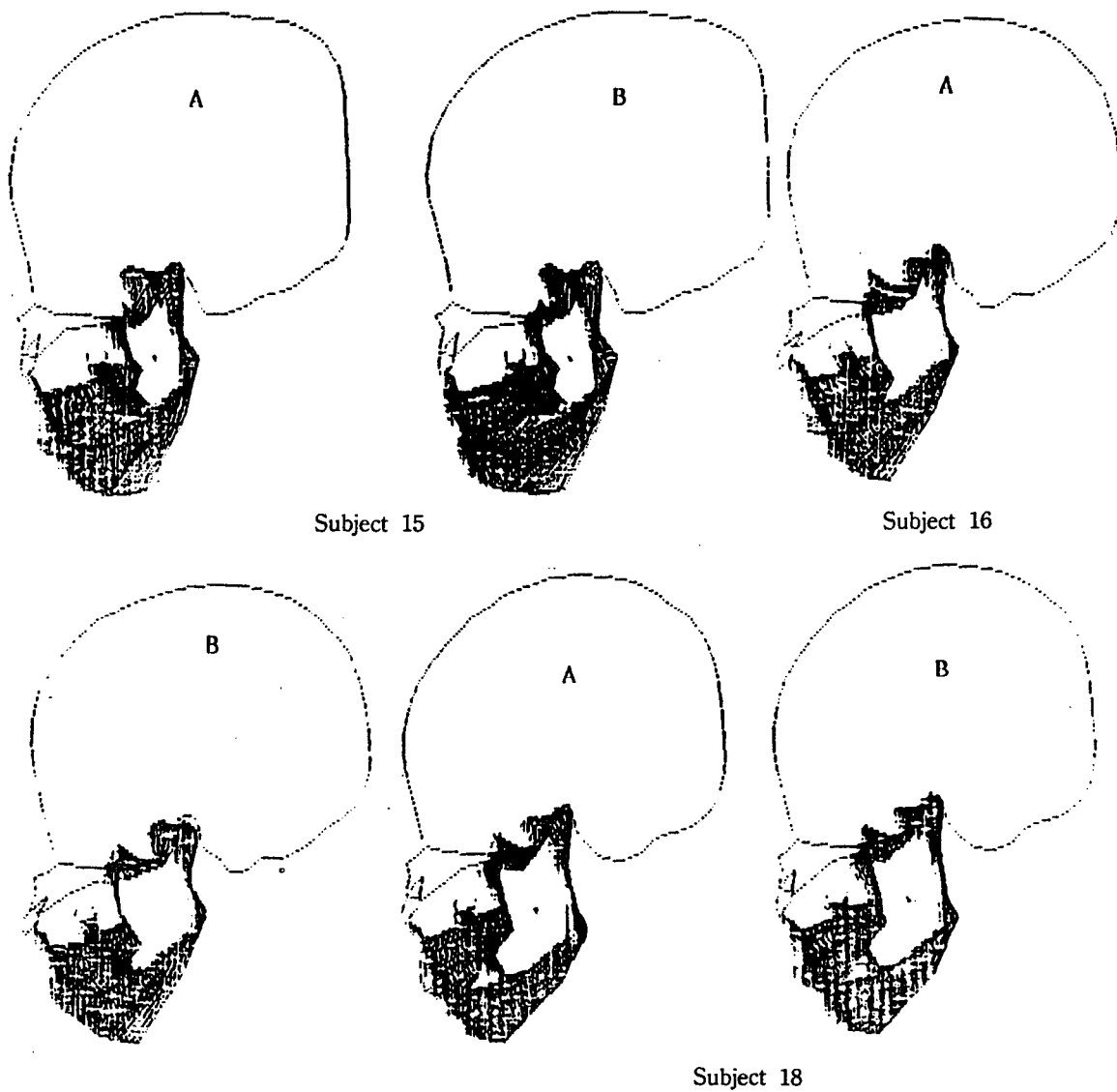
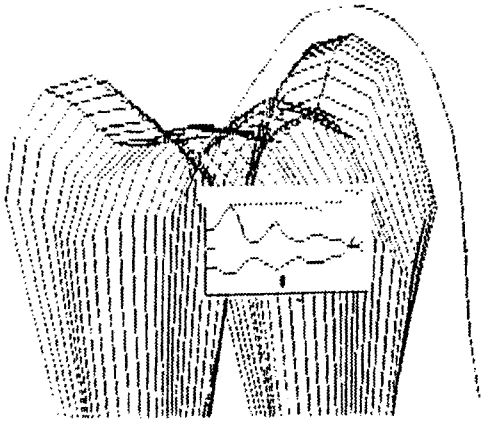
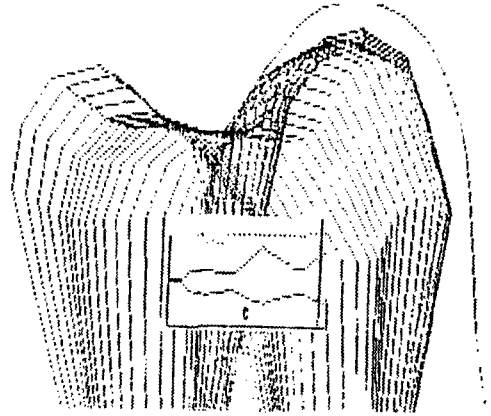


Fig. 13. Computer graphic simulation of the mandibular movement by I.C.R. at the opening(A) and closing(B) movements of the subjects.

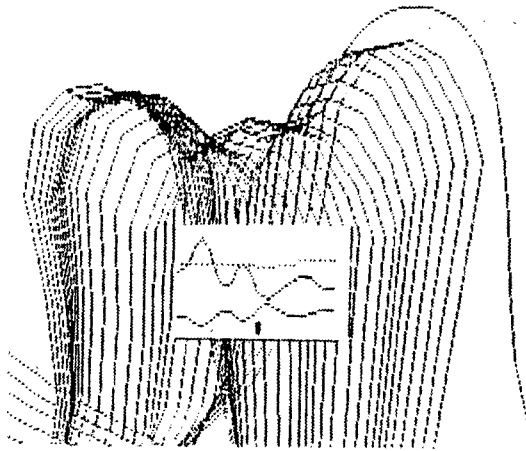


A

Subject 1

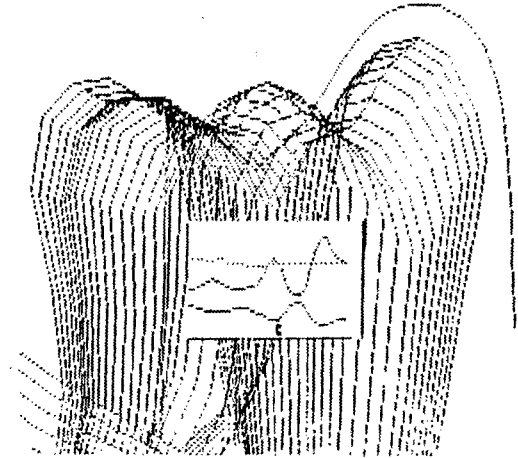


B

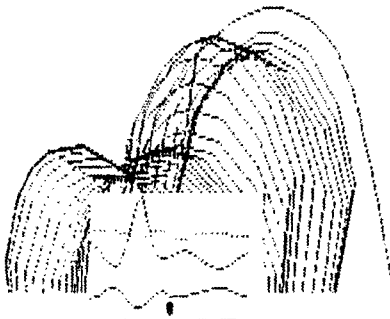


A

Subject 3

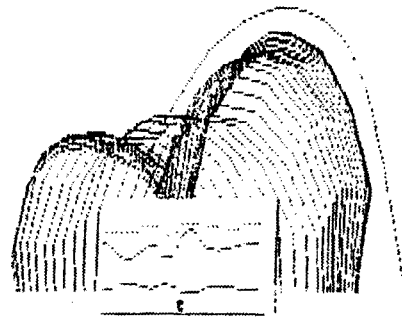


B

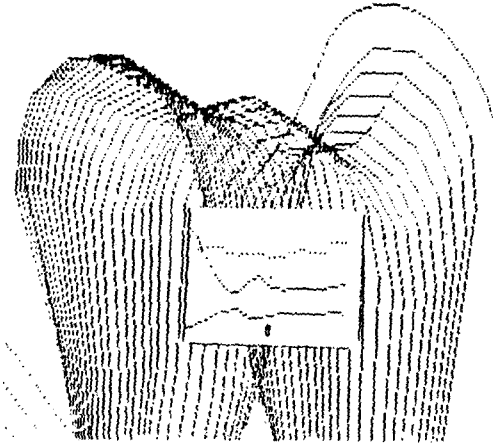


A

Subject 4

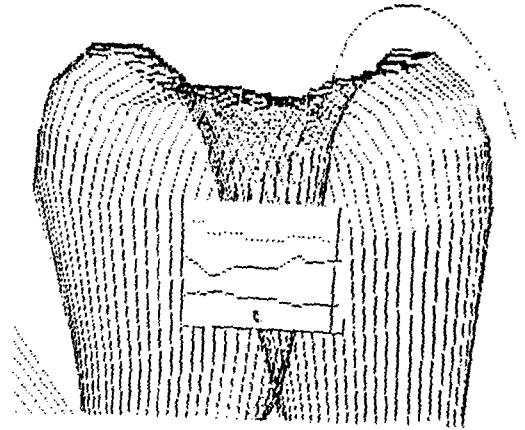


B

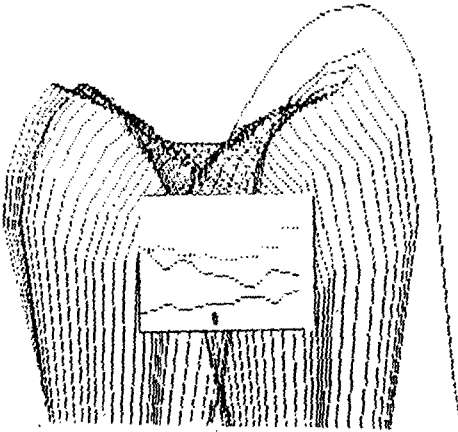


A

Subject 6

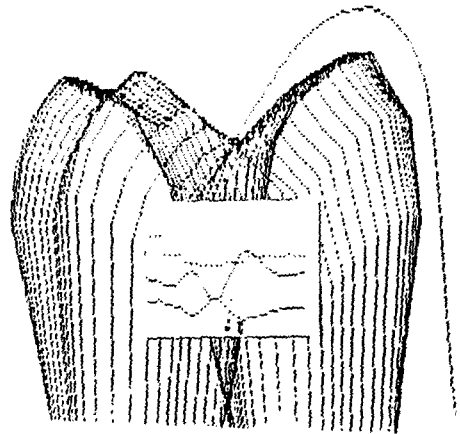


B

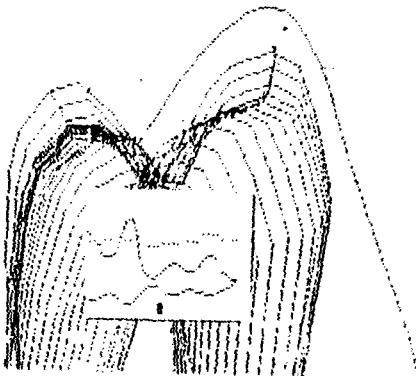


A

Subject 8

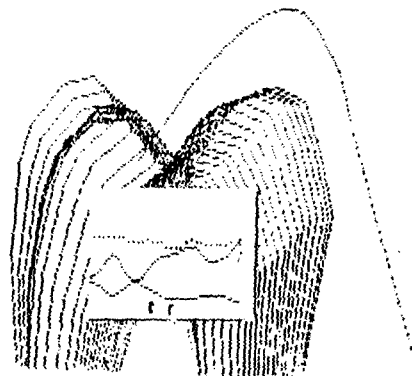


B

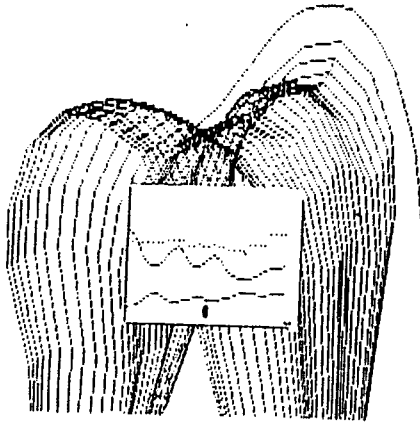


A

Subject 9

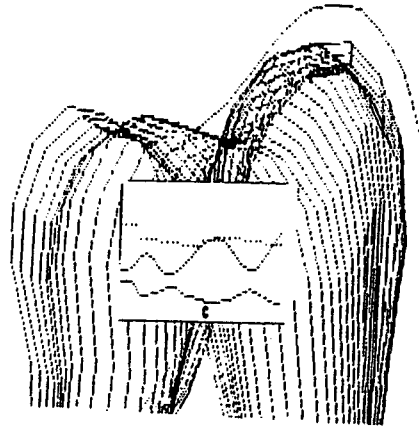


B

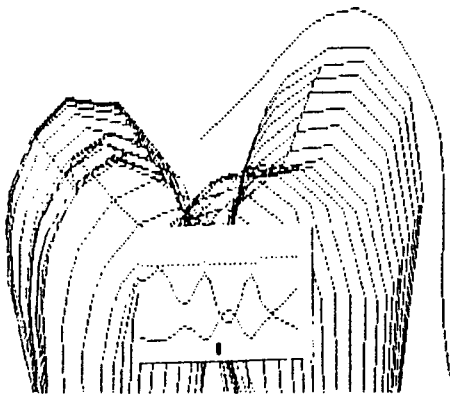


A

Subject 12

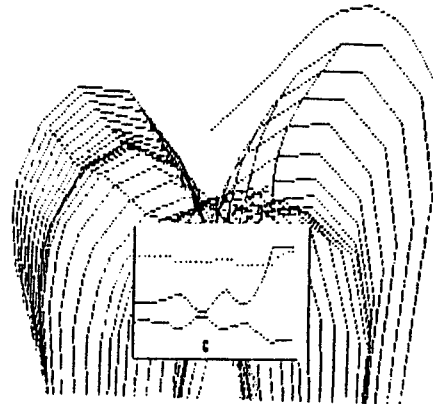


B

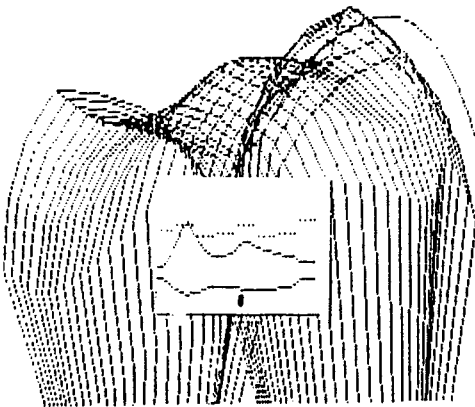


A

Subject 13

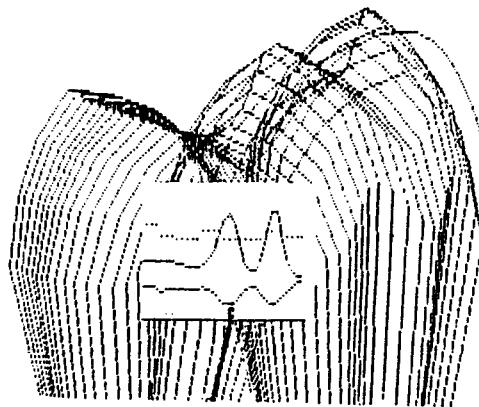


B

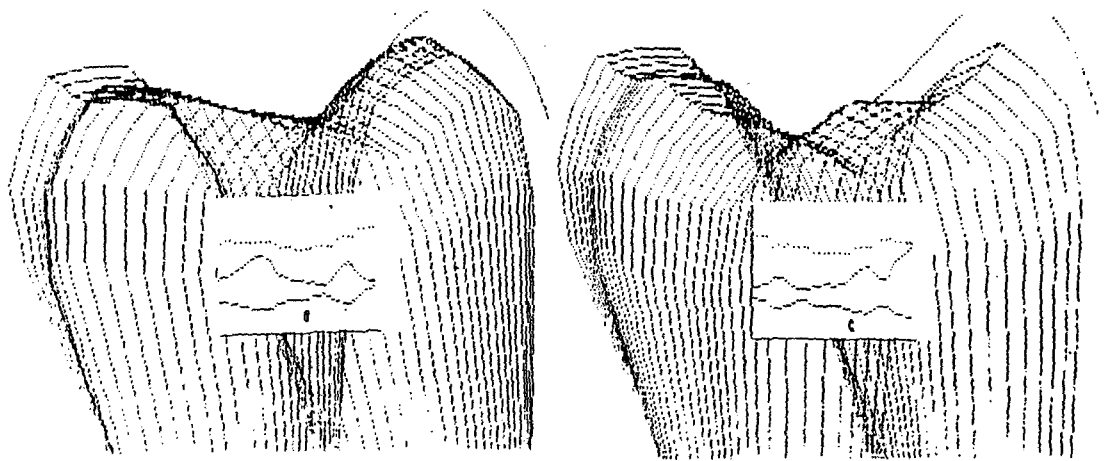


A

Subject 14

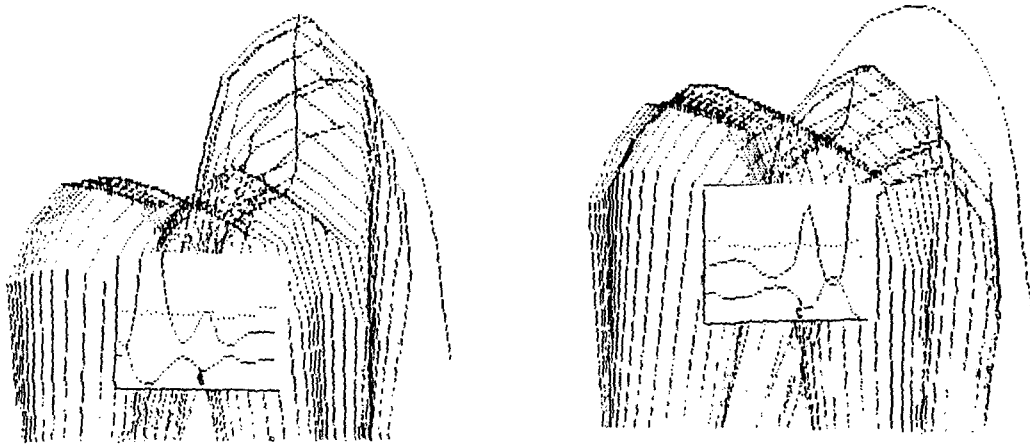


B



A Subject 15

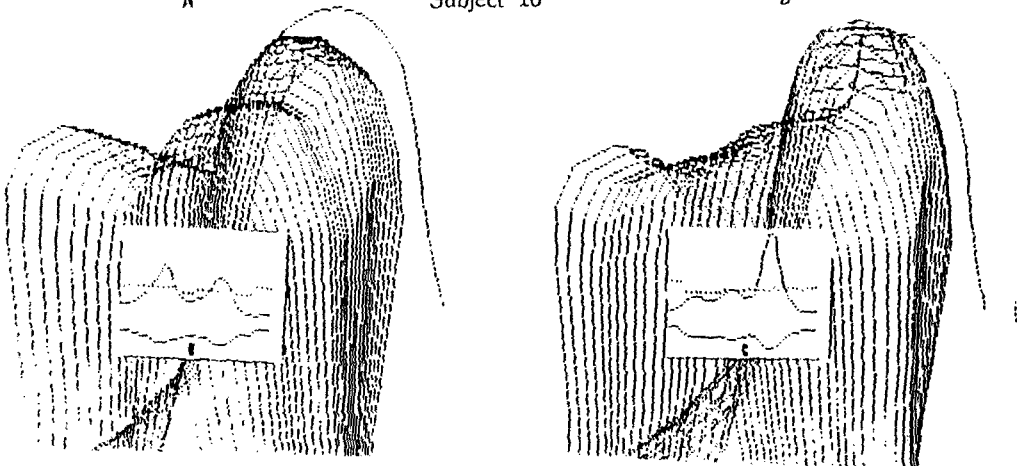
B



A

Subject 16

B



A

Subject 18

B

Fig. 14. Opening(A) and closing(B) movement patterns of condyle shape followed by K constant radius and rotation angle of the subjects

IV. 총괄 및 고찰

관절 운동학에서 근본적인 문제의 하나는 관절에서 발생하는 회전과 활주의 순간적인 운동양태를 어떻게 적절하게 묘사하느냐이다.⁸⁾

측두 하악관절에서의 하악 운동에서도 회전과 활주 운동이 복합되어 나타나는데 최근 측두하악 장애 환자가 증가하여^{4,11)} 하악 운동장애가 발생됨에 따라 측두하악장애에 따른 비정상 운동과 정상 운동의 생물 역학을 비교하여 비정상적 회전 중심 발생에 의한 조직 장애가 어떻게 관절부의 기계적 장애를 유발하게 되는가를 밝히는 것은 측두하악 장애 환자의 진단과 치료 과정에 임상적으로 유용하다.

1911년 Fisher²²⁾가 인체 관절부의 순간 회전 중심 결정을 소개하였고 Frankel²⁵⁾ 등이 슬관절의 병리상태를 운동학적으로 진단하기 위해 응용한 이래 정형외과 의사와 기계공학자들에 의해 슬관절, 고관절의 운동에 대한 역학을 이해하고 인공 정형물을 고안하는데 순간 회전 중심이 이용하여 왔다.⁶²⁾

그러나 관절 운동학 연구에서 3차원적인 운동을 2차원적으로 분석하는 것에 대해 Soudan 등⁶⁰⁾은 슬관절의 경우 3차원적으로 순간축(instant axis)이 발생되지만 순간축에 대한 운동의 재현이 어렵고 또한 타원형의 순간축을 한 점으로 나타내기 어렵기 때문에 3차원적 운동을 2차원적인 평면 운동으로 재현하여 분석하는 것도 임상적인 의의가 있다고 했으며 Woltring⁶⁶⁾은 생물학적인 관절운동이 일반적으로 3차원적이지만 공간 운동 재현에 대한 기계적 장치의 복잡성 때문에 일부이기는 하지만 어떤 중요한 평면 운동에 대해 연구한다 하여도 관절 운동에 대한 역학적 정보를 제공해 줄 수 있다고 하였고 Bando 등⁹⁾은 하악 운동의 경우에도 2차원적인 분석을 하여도 의의 있다고 보고하여 본 연구에서도 2차원적인 운동 분석을 시행하였다.

평면 운동에 대한 연구 방법의 하나로써 주목

받기 시작한 순간 회전 중심 개념은 결정된 순간 회전 중심 위치에 의해 운동의 방향이 결정되어 비정상적인 순간 회전 중심과 비교하여 장애의 상태를 규명하는데 이용되는 것으로 지금까지 많은 연구자들은 Rouleaux 방법을 이용하여 순간 회전 중심을 결정하고 분석하여 왔으나 Duke²⁰⁾ 등은 순간 회전 중심 위치 결정시 표점 좌표의 측정 오차와 회전자의 감소에 의해 최대의 오차가 나타나기 때문에 반드시 오차를 감소 시키는 방법이 필요하다고 하였다. 따라서 Rouleaux 방법을 이용하는 경우에 두 점 이상의 좌표를 이용하거나 같은 좌표를 반복적으로 측정하여 결정된 평균 치수좌표를 이용해야 한다고 제시하였고 또한 Dimnet 등^{17,18)}과 Soudan 등⁶⁰⁾은 입력 좌표의 정확성을 위해 입력 좌표에 대한 곡선적합법(curve fitting)의 이용을 보고하였고 Dimnet¹⁸⁾은 정확한 입력 좌표를 얻기 위해 PDP 1105 computer에 연결된 Summagraphic digitizer를 이용하였다.

본 연구에서 순간 회전 중심을 결정하기 위해서 planer rigid body model을 이용하였는데 이 방법은 순간 회전 중심 결정법의 하나인 Rouleaux 방법에 의해 발생된 오차를 감소시키기 위해 고안된 결정방법으로써 Woltring 등⁶⁶⁾에 의해 연구되어 왔으며 윤⁶⁾의 연구에 의하면 planer rigid body model 방법과 Rouleaux 방법은 입력 오차에 민감하였으나 회전 방향과 반경 방향에 대한 오차 연구에서 planer rigid body model 법은 Rouleaux법보다 우수하다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 입력 좌표의 정확성을 위해 18 AT 컴퓨터에 연결된 Summagraphic digitizer에 의해 얻은 입력 좌표에 곡선적합법을 적용한 후 수학적 planer rigid body model에 의해 순간 회전 중심과 순간 회전 중심로를 재구성하였다.

곡선적합법에는 입력 데이터를 최소 자승법(least-square approximation)으로 하거나 Newton 보간법, Lagrange 보간법, Cubic spline 보간법 등이 이용되고 있는데²⁶⁾ 치과분야에서 과거에 Cubic spline법에 대한 응용이

없었으나 1989년 El -Gheriani 등¹⁶⁾이 B-spline 곡선적합법을 이용한 하악두로 연구에서 B-spline 법은 가장 정확하며 하악두로에서 평균 하악두각을 측정하는데 유용하다고 보고하였던바 본 연구에서는 Cubic spline 법의 하나인 B-spline 보간법을 이용하였다.^{16,52)}

하악 운동시 초기 회전 중심 위치와 관련하여 Koski³⁵⁾는 회전 중심이 하악두에 위치하게 되는 경우 하악은 후방의 인후조직을 압박하게 되므로 유양돌기 부분에 나타나야 되나 하악 운동의 정도, 환자의 위치에 따라 변화될수 있다고 하였으며 Nevakari⁴³⁾와 Kawata 등³³⁾은 두부 X선 규격 사진 연구를 통하여 안정위에서 중심 교합까지의 회전 중심은 유양돌기를 중심으로 분포되어 있다 하였고 Clapp¹⁴⁾는 최대 개구를 제외하고 모두 하악 밖에 회전 중심이 존재한다고 하였는데 제11도와 제3, 4 표에서와 같이 planer rigid body model 법에 의해 얻어진 개구 운동시의 초기 순간 회전 중심 및 폐구 운동시의 최종 순간 회전 중심은 하악두 내에 위치 하지 않고 하악체 밖 유양돌기를 중심으로 발생되었다. 이는 통상적으로 술자에 의해 하악을 최후방위로 밀면서 제한된 범위 내에서 개폐 운동시켜 과두내 한 지점에서 얻었던 종말 접변측점^{42,51,65)}과는 달리 본 연구의 경우 개구시 초기 순간 회전 중심 및 폐구시 최종 순간 회전 중심은 대상자 자신의 개폐구근의 작용에 의한 습관적 개폐구 운동에 의해 발생된 것이기 때문에 통상적인 하악두 내에서의 인위적인 접변측과 위치적인 차이가 나타난 것으로 생각된다.

하악 운동시 제12도에서와 같이 개구 초기 운동시 K상수의 결정 요소인 반경은 개구 말기에 비해 현저히 증가됨으로써 하악체 밖에서 주로 순간 회전 중심이 발생되어(Fig.10) Frank,²⁴⁾ Grant,²⁷⁾ Moss,⁴⁰⁾ Smith⁵⁹⁾ 등이 보고한 하악공에서의 회전 중심 위치와 차이를 나타내고 있는데 이는 회전 중심 결정 방법의 차이인 것으로 생각된다. 특히 순간 회전 중심이라 명명하여 연구한 Grant²⁷⁾의 보고와 달리 본 연구의 제11도에서와 같이 회전 중심과 순간 회전 중심

로는 개구 운동의 순간적 변동량과 순간적 회전 각에 의해 발생 시켰기 때문에 두부 X선 규격 사진을 개구량에 따라 반복 촬영하여 얻어진 Grant²⁷⁾의 경우 1929년 Hall²⁹⁾의 연구를 인용한 것으로 개구량 정도에 따라 회전각이 증가되어 나타난 결과론적인 정적인 의미에서의 회전 중심으로 순간 회전 중심 개념에 따른 동적인 회전 중심이 아니며, 컴퓨터 분석이 아닌 해부학적인 두점의 도해에 의해 중심을 결정함으로써 나타나는 결정 방법에 따른 차이로 사료된다. 또한 Stern⁶¹⁾은 Grant²⁷⁾의 순간회전 중심에 대해 저작력과 근력과의 관계에서 의미가 없다고 했지만 Grant²⁷⁾의 연구는 순간 회전 중심 발생에 있어 해부학적 구조와 저작근력과의 관계를 밝히는데 중요한 기여를 하였다.

개폐구시 하악두내에서 회전 중심이 발생할 것인가에 대해 Moss⁴⁰⁾는 하악두의 관절면이 완전한 구형이 아니고 타원형이기 때문에 축폐선(evolute)을 형성하는 무수한 순간 회전 중심이 발생된다 하였으며 Hickey 등³¹⁾은 또한 하악두 관절면의 불규칙성에 따라 회전 중심에 변화가 있다고 하였는데 본 연구에서도 제11도에서 보는 바와 같이 회전 중심이 하악두 내보다는 하악두 밖의 다양한 위치에서 발생되는 것을 보여주었다. 이러한 점에서 개폐운동시 하악두의 역할은 지렛대 작용으로써 보다는 해부생리학적으로 근육과 인대가 조화하여 발생하는 운동력에 의한 유도 부위로 작용되는 것으로 사료되어 악관절 분야에서의 하악두의 역할과 근신 경계의 조화에 의해 발생하는 순간 회전 중심에 대해 새로운 인식이 필요하다고 생각되었다.

하악두의 역할에 대해 Gysi²⁸⁾는 다양한 하악 운동이 발생할때 실제 회전 중심은 하악두에 있지않고 하악두는 하악 운동시에 하악의 고정성의 유도 기능만을 하는 것으로 간주하여 측두하악관절 부위는 관절운동의 유도인자로서 기계적인 기능을 가진다고 보고하였다는 사실과 본 연구의 다양한 순간 회전 중심이 발생된다는 연구성적으로 미루어 볼때 개구 운동시의 하악

두의 3급 지렛대 역할에 대해 의문이 제기되기 때문에 운동역학적 측면에서 개구 및 폐구시 작용되어 근력의 작용방향에 의해 나타나는 다양한 순간 회전 중심 발생에 따른 중립적 위치에서의 회전 중심 위치를 결정하기 위해서는 근육의 해부학적 기시 및 종지점등이 고려되는 연구가 추후 진행되어야 할 것이라고 사료된다.

본 연구에서 입력 좌표의 B-spline 방법에 의해 얻어진 순간 회전 중심로의 경우 개구와 폐구에 따른 차이와 개인에 따른 다양성을 나타내어 개폐구시 모든 개인에게 공통적으로 적용할 수 있는 정형적인 양상을 얻을 수 없었지만 회전각과 반경의 곱에 의해 발생시킨 정형지수인 K상수가 다양한 회전 중심로에 비해 정형적 양상을 나타내 주기 때문에 K상수는 개폐구 운동시 측두하악 장애 발생의 경우와 비교하는 경우에는 측두하악 관절 및 하악 운동의 기계공학을 이해하는 지수가 될것으로 사료되었다.

본 연구의 제 13, 14 도 에서와 같이 하악 운동 궤적에 의하면 대상자에 따라 초기 개구 운동시 하악두 자체는 하방으로 이동되는 경향을 나타냈는데 이는 하악두가 폐구시에 관절낭 인대의 긴장에 의해 관절 상방에 위치하였다가 개구 초기에 이 인대가 이완되어 수직 하방 운동한다는 Page⁴⁶⁾의 보고와 하악두가 수직적 하방 이동된다는 Lundberg³⁷⁾의 주장과 일치하였으며, Clapp¹⁴⁾는 이를 수직적 개구 운동이라 하였고 발생 되는 회전 중심 점은 순수한 기하학적인 위치로서 근력이 단순히 작용하여 만나는 점이라 하였으며 또한 외익돌근의 영향에 의해 접변 운동처럼 보이는 개구 운동시 하악이 하방 이동하기 때문에 하악두 자신에 의해 형성될 radial arc를 방해한다고 보고하였다.³⁶⁾ 그러나 본 연구에서 재현된 하악 운동의 경우는 대상자의 습관적 운동에 따라 얻어진 것이기 때문에 대상자에 따른 개구 습관이 고려되어야 하며, 개폐운동을 반복시켜 하악 운동을 재현시키므로서 다양한 하악 운동의 경우에도 변동되지 않는 중립적인 위치(neutral space)가 존재된다면 근육 신경계가 보호받아 측두 하악관절계가 생리학적

으로 건강할 것이나 하악 운동시 중립적인 위치가 파괴되거나 변동되는 경우에는 측두 하악관절계의 장애를 발생시킬 수 있을 것이라 추론되어졌다.

제 14도에서 보는바와 같이 순간 회전 중심 발생에 따른 하악두 운동시 하악두는 상하 전후로 운동하면서 관절 돌기의 양상을 재현하였으나, 하악두로와 하악두 경사는 개인에 따른 다양한 양상을 재현하며 K상수의 결정요소인 회전각과 반경에 영향을 받고 있었다. 하악두의 운동 양상시 Grant²⁷⁾는 형태학적인 면에서 하악두의 외형, 관절돌기의 형태 및 경사등과 기능적인 면에서는 근력의 정도 및 방향 기시 및 종지점 등의 다양한 요소가 하악두 운동에 영향을 미친다고 하였다. Osborn⁴⁵⁾은 관절돌기는 활주 운동을 유발시키게 되는 해부학적 요소이며 포유동물의 악관절중 유일하게 융기된 관절 돌기를 가지고 있는 바 관절 돌기의 영향에 따라 회전 중심 위치 발생은 다양하다 하였고 Isberg-Holm³²⁾ 등은 개인에 다른 하악두로의 다양성은 운동의 속도나 좌우 근활성의 차이에 따르는 것이라 제시한 바와 같이 회전 중심로의 결정시에는 운동의 속도와근활성의 양상도 고려되어야 한다고 사료되었다.

Bennett¹¹⁾는 하악두의 순간 회전 중심은 악골의 활주에 의해 발생된다고 하여 순간 회전 중심과 활주 운동의 관련성을 주장한 이후, Sicher⁵⁷⁾는 개구 중 하악두 활주는 인간에게 특별한 것으로 활주로 인해 하악체 후면과 유양돌기 사이의 공간을 증가시켜 개구시 하악골 후방의 조직 압박을 피할 수 있다고 했으며 Smith⁵⁹⁾는 활주는 하악골에서의 회전 중심 위치를 유도하고 교근 신장량을 감소시켜 근섬유의 length-tension curve의 효율적인 범위 내에서 근육이 기능하도록 하며 지립 자세를 취하는 인간은 개구 중 활주가 발생됨에 따라 혀와 하악골에 의한 식도, 기도, 인도, 경동맥초 등의 압박이 방지된다고 보고 하였는데 본 연구에서도 제 14도 에서와 같이 하악두 운동 양상을 분석한 결과 순간 회전 중심 발생은 활주에 의한 것이며 하악두는 활주 운동을 하고 있다는 것을 파악할 수 있었다. 따

라서 순간 회전 중심 발생 측면에서 활주는 임상적으로 대단히 중요하다 할수 있으며 Osborn⁴⁵⁾과 Dolwick 등¹⁹⁾은 측두하악 장애는 일차적으로 관절 원판과 하악두 사이의 부적절한 위치에 기인하여 측두하악 장애 증상 중 동통과 저작 장애를 동반하는 개구 제한의 경우 관절 원판의 전방 전위에 의해 활주가 발생되지 않고 하악두의 제한된 위치 내에서 회전 운동만 발생된다 하였다. 본 연구의 제12도에서와 같이 하악 운동시 관절 원판의 활주와 동시에 발생하는 개구 운동의 순간 회전 중심을 분석하므로써 얻어진 K상수는 하악두 활주의 정상 기능 여부를 임상적으로 평가하여 측두하악 장애를 운동학적 측면에서 진단하고 치료 결과를 예측하는 지수로 응용할 수 있다는 가설을 전제해 볼때 하악 운동의 회전 중심을 결정하는 것은 임상적으로 유용하다고 생각되나 본 연구에서는 습관적 개폐운동 만을 재현하였기 때문에 다양한 운동에 따른 순간 회전 중심 및 활주 운동 요소를 고려한 연구가 계속되어야 할 것으로 사료되었다.

또한 본 연구에 있어서도 순간 회전 중심 결정시 몇가지 오차도 고려되어야 한다. Soudan 등⁶⁰⁾과 Harding 등³⁰⁾은 순간 회전 중심 결정시 단점의 하나로 표점의 위치 오차에 따라 순간 회전 중심은 민감하다고 하였고 Woltring 등⁶⁶⁾은 회전 중심 위치의 오차는 회전각의 크기와 표점분산 반경에 반비례 한다고 하였으며 최근 Bryant 등¹³⁾은 표점 좌표내 이산 오차라 가정 한 모의실험에서 회전각의 크기에 따라 순간 회전 중심은 오차를 갖게 된다고 보고하였다.

Panjabi 등⁴⁸⁾은 회전각이 10°미만으로 갈수록 오차 발생이 증가되고 이동 표점의 수선에 이뤄진 각이 90°에 가까울수록 오차가 감소된다고 보고한 바 본 연구의 회전각이 10° 미만으로 나타내어 순간 회전 중심도 약간의 오차를 갖게 될 것이라고 추정할 수 있었다. 그러나 순간 회전 중심의 다양성이 개인의 조건에 따라 발생된 것인지를 규명할 수 없었기 때문에 회전 및 활주

에 영향을 미칠 수 있는 해부학적 요소, 다양한 운동성, 개인의 반복 운동에 다른 통계학적 모의 실험등이 고려 되어야 하고 입력 데이터의 정확성을 위해서는 하악의 개폐 운동과 동시에 좌표를 얻을 수 있는 전자식 데이터 검출 장치가 개발되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

측두하악 장애에 대한 생체 공학적 이해를 위해서는 기본적으로 하악의 회전과 활주 운동에 따라 발생하는 순간 회전 중심을 결정하는 것이 임상적으로 필요하다. 이러한 순간 회전 중심의 결정을 위해 임상적으로 측두하악 장애가 없고 하악 운동이 정상이라고 판단되는 성인 남자 20명을 연구 대상으로 하여 하악 운동 기록장치에 의해 얻어진 습관적 개폐 운동로의 순간 운동점을 B-spline 법에 의한 planer rigid body model 의 알고리즘(algorithm)에 의해 순간 회전 중심과 순간 회전 중심로를 재 구성하고 하악 운동을 재현하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 개구 초기와 폐구 말기의 순간 회전 중심은 대부분 하악두 내에 존재하지 않고 하악체 밖 유양돌기를 중심으로 발생하였다.
2. 개폐구 운동시 순간 회전 중심로는 개인에 따라 다양한 양상을 나타냈다.
3. 하악 운동의 지수라 예측되는 회전각과 반경의 곱에 의한 일정한 형태의 K상수를 얻을 수 있었다.
4. 개구 및 폐구 운동시 순간 회전 중심로에 따라 하악의 개구 및 폐구 운동을 재구성할 수 있었다.
5. 하악두는 K상수의 결정 요소인 회전각 및 반경의 상대적 크기에 따라 회전 및 활주 운동하는 양상을 나타냈다.

- References -

1. 강동완, 박상윤 : 하악골 운동학(I)

- : "악관절의 지렛대 및 링크 작용에 대해", 「조선대 구강생물학연구」 제11집 121-127, 1987.
2. 강동완, 최명식 : 하악골 운동(II) : "접번축 및 순간 회전 중심에 대해", 「조선대 구강생물학연구」 제11집 129-138, 1987.
 3. 강동완, 이규칠 : "Planer rigid body model에 의한 순간 회전 중심 결정과 하악골 운동에 관한 연구", 「조선대 구강생물학 연구」 제12집 167-179, 1988.
 4. 김용란, 이승우 : "한국인의 측두하악 장애에 대한 역학적 연구", 「서울대학교 치대 논문지」, 제11권 제1호, 151-176, 1987.
 5. 김청규, 강동완, 정재현 : "순간 회전 중심 결정과 하악골 운동에 관한 연구", 「대한치과보철학회지」, 제26권, 63-84, 1988.
 6. 윤문근 : "강체의 회전 중심을 구하는 알고리즘에 관한 연구", 공학석사학위논문, 조선대학교, 1988.
 7. 손동식 : "악관절의 운동학에 관한 방사선학적 연구", 「치과연구」, 제18권, 51-55, 1985.
 8. Andrews J.G.: "On the specification of joint configurations and motions", J. Biomech., 17: 155-158, 1984.
 9. Bando, E., Arai, Furuya, R., Hasegawa, S. and Tabata I.: "Graphic display of mandibular border movement", J. Japan Prosthodont. Society, 20: 295-303, 1976.
 10. Baragar, F.A. and Osborn, J.W.: "A model relating patterns of human jaw movement to biomechanical constraints", J. Biomech., 10: 757-767, 1984.
 11. Bennett, N.G.: "A contribution to the study of the movements of the mandible", Proc. Roy. Soc. Med., 1: 79-83, 1908.
 12. 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.
 13. 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.
 14. Clapp, G.W.: "There is no usable vertical opening axis in the mandible", J. Prosth. Dent., 2: 147-158, 1952.
 15. 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.
 16. El-Gheriani, A.S. and Winstanley, R.B.: "Graphic tracings of condylar paths and measurements of condylar angles", J. Prosth. Dent., 61: 77-87, 1989.
 17. 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.
 18. Dimnet, J.: The improvement in the results of kinematics of in vivo joints, J. Biomech., 13: 653-661, 1980.
 19. Dolwick, M.F., Katzberg, R.W. and Helms, C.A.: "Internal derangements of T.M.J.: fact or fiction", J. Prosth. Dent., 49: 415-416, 1983.
 20. Duke, R.P., Somerset, J.H., Blachariski, P. and Murray, D.G.: "Some investigation of the accuracy of knee joint kinematics", J. Biomech., 10: 659-673, 1977.
 21. Fick, R.: Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke, unter Berücksichtigung der bewegenden Muskeln, 2: 299, 1911.
 22. Fisher: cited from 47.
 23. Flatt, A.E.: The pathomechanics of ulnar drift, A biomechanical and clinical study, Final report, Social and Rehabilitation Services Grant. 16-19, 1956.
 24. Frank, L.: "The opening axis of the jaw", Dent. Digest, 62: 16-19, 1956.
 25. Frankel, V.H., Burstein, A.H. and Brooks,

- D.B.: "Biomechanics of internal derangement of the knee", J. Bone and Joint Surg., 53: 945-967, 1971.
26. Gerald, C.F. and Wheatley, P.O.: Applied numerical analysis, Addison-Wesley Publishing Company 3rd ed., 198-206, 1984.
 27. Grant, P.G.: "Biomechanical significance of the instantaneous center of rotation: The human temporomandibular joint", J. Biomech., 6:109-113, 1973.
 28. Gysi, A.: "The problem of articulation", Dent. Cosmos, 52: 1-12, 1910.
 29. Hall, R.E.: "An analysis of the work and ideas of investigators and authors of relations and movements of the mandible", J.A.D.A., 16: 1642-1693, 1929.
 30. Harding, M.L., Harding, L. and Goodfellow, J.W.: "A preliminary report of a simple rig to aid study of the functional anatomy of the cadaver human knee joint", J. Biomech., 10: 517-523, 1977.
 31. Hickey, J.C., Alison, M.L., Woelfel, J.B., Boucher, C.O. and Stacy, R.W.: "Mandibular movements in three dimensions", J. Prosth. Dent., 13: 72, 1963.
 32. Isberg-Holm, A. and Ivarsson, R.: "The movement pattern of the mandibular condyles in individuals with and without clicking", Dentomaxillo-facial Radiol., 9: 55-65, 1980.
 33. Kawata, T. et al.: "Mandibular movement in Angle III malocclusion in the mixed dentition", J. Am. Orthod., 52: 61-68, 1982.
 34. Kornfeld, M.: Mouth Rehabilitation 2nd Ed., Chapter, 4, centric relation-theory and practice, the C.V. Mosby Company St. Louis, 1974.
 35. Koski, K.: "Axis of opening movement of the mandible", J. Prosth. Dent., 12: 888-894, 1962.
 36. Lebao, R.: "Value of the hinge axis record", J. Prosth. Dent., 5: 623-625, 1955.
 37. Lundberg, M.: "Free movements in the temporomandibular joint, A cineradiographic study", Acta Radio., Suppl. 220, 1963.
 38. 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.
 39. Morrey, B.F. and Chao, E.Y.S.: "Passive motion of the elbow joint", J. Bone and Joint Surg., 58(A): 401-508, 1976.
 40. Moss, M.L.: "The functional matrix concept and its relationship to T.M.J. dysfunction and treatment", Dent. Clin. NorthAm., 27: 445-455, 1983.
 41. 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.
 42. Naylor, J.G.: Readers round table, J. Prosth. Dent., 23: 575-576, 1970.
 43. Nevakari, K.: "An analysis of the mandibular movement from rest to occlusal position, A Roentgenographic-Cephalometric Investigation", Acta Odont. Scand., 14, Suppl. 19: 11-129, 1956.
 44. Nordin, M. and Frankel, V.H.: Chapter 4, Biomechanics of the knee, Basic biomechanics of the skeletal system, Phila Lea and Febiger, 1980, 113.
 45. Osborn, J.W.: "The disc of the human temporomandibular joint: design, function and failure", J. Oral Rehab., 12: 279-293, 1985.
 46. Page, H.L.: "Lexicograph, hinge opening, hinge closing and centric", Dent. Digest, 61: 17, 1955.
 47. Panjabi, M.M.: "Centers and angles of rotation of body joint: A study of error and optimization", J. Biomech., 12: 911-920, 1979.
 48. Panjabi, M.M. and Goel, V.K.: "Errors in kinematic parameters of a planer joint:

- guidelines for optimal experimental design", J. Biomech., 15: 537-544, 1982.
49. Pope, M.H., Wilder, D.G., Matteri, R.E. and Frymoyer, J.W.: "Experimental measurements of vertebral motion under load", Orthop. Clin. N. Am., 8: 155, 1976.
 50. Posselt, U.: "Studies in the mobility of the human mandible", Acta Odont. Scand., 10, Suppl. 10: 13-15, 1952.
 51. Preston, J.D.: "A reassessment of the mandibular transverse horizontal axis theory", J. Prosth. Dent., 41: 605-613, 1979.
 52. Rogers, D.F. and Adams, J.A.: Mathematical elements for computer graphics, McGraw-Hill Book Company 1976, 119.
 53. Rolander, S.D.: Motion of the lumbar spine with special reference to the stabilizing effect of posterior fusion. Thesis, Department of Orthopaedic Surgery, University of Gothenburg, Sweden.
 54. Santos, J.D.Jr.: Occlusion principles and concepts, chapter 2: mandibular movement, Ishiyaku Euro America, Inc. Publishers St. Louis, Tokyo, 1985.
 55. Shanahan, T.E.J. and Leff, A.: "Mandibular and articulator movements, part III, The mandibular axis dilemma", J. Prosth. Dent., 12:292-297, 1962.
 56. Shoup, T.W.: "Optical measurement of the center of rotation for human joint", J. Biomech., 9: 241, 1976.
 57. Sicher, H.: "Functional anatomy of the temporomandibular articulation (Abstr.)", Aust. J. Dent., 55: 73-75, 1951.
 58. Smidt, G.L.L.: "Biomechanical analysis of knee flexion and extension", J. Biomech., 6: 79-92, 1973.
 59. Smith, R.J.: "Functions of condylar translation in human mandibular movement.", Am. J. Orthod., 88: 191-202, 1985.
 60. 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.
 61. Stern, J.T. Jr.: "Biomechanical significance of the instantaneous center of rotation; The human temporomandibular joint", J. Biomech., 7: 109-110, 1974.
 62. Walker, P.S., Shojij, H. and Erkman, J.J.: "The rotational axis of the knee and its significance to prosthesis design", Clin. Orthop. Rel. Res., 89: 1607-170, 1972.
 63. Weinberg, L.A.: "The occlusal plane and cuspal inclination in relation to incisal-condylar guidance for protrusive excursions", J. Prosth. Dent., 9: 617-618, 1959.
 64. White, A.A. III: "Analysis of the mechanics of the thoracic spine in man. An experimental of autopsy specimens", Acta Orthop. Scand. Suppl., 127, 1969.
 65. Winstanley, R.B.: "The hinge-axis: a review of the literature", J. Oral Rehab., 12: 135-159, 1985.
 66. 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.

— Abstract —

**A study on the determination of the instantaneous center
of rotation pathway and the movement of the mandible
by using the B-spline method**

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

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Chosun University

Recently the instantaneous center concept has been to understand the biomechanics by which a tissue derangement causes a mechanical derangement in human joint. Therefore, to understand the biomechanics of temporomandibular joint (T.M.J.) as a part of human joint, it is necessary to clarify the instantaneous center of rotation (I.C.R.) in the mandibular movement.

Twenty male subjects without T.M.J. disorder and mandibular deviation during the mandibular movement were selected for this study.

The habitual opening and closing paths were recorded on the paper of the sagittal metal plate by two pencil markers connected to the resin open clutch attached on the lower teeth, which was designed for this study.

The coordinates of the 33-target points and the 109-anatomical landmarks were obtained using a Summagraphic digitizer connected to a 18AT computer.

The original raw data of the opening and closing paths were smoothed by B-spline curve fitting technique and then the I.C.R. pathways were determined mathematically by the computer using algorithm for finding the I.C.R. of a planer rigid body model. Also the opening and closing movements of the mandible were simulated according to the determined I.C.R.

The results obtained from this study were as follows.

1. At the early opening and the last closing, I.C.R.'s were almost distributed around the mastoid process outside the mandibular body without the presence in the region of the mandibular condyle.
2. The I.C.R. pathway showed variable patterns to each subject at the opening and closing movements.
3. The K constant with uniform pattern was obtained by the rotation angle times the radius, which was assumed to the index of the mandibular movement.
4. The opening and closing movements of the mandible were simulated by the I.C.R. pathways at the habitual opening and closing movements.
5. The mandibular condyle was rotated or translated according to the relative rotation angle and radius of the determinant factors of K constant.