

척수전근 및 후근절단과 척추측만증에 관한 연구

서울대학교 의과대학 정형외과학교실

석세일 · 송호성 · 이상훈 · 이춘기 · 이춘성 · 한진수

=Abstract=

Scoliosis Induced by Anterior and Posterior Rhizotomy

Se Il Suk, M.D., Ho Sung Song, M.D., Sang Hoon Lee, M.D., Choon Ki Lee, M.D.,
Choon Sung Lee, M.D., and Jin Soo Han, M.D.

*Department of Orthopedic Surgery, College of Medicine, Seoul National University,
Seoul, Korea*

This paper presents the result and statistical analysis of the experiment, in which selective anterior or posterior rhizotomy were carried out under microscopic surgery. The materials used for the experiment were 48 young rabbits, and they were divided into four groups. The group I, which was used as control, was subjected to lower dorsal bilateral laminectomies with dural incision, the group II to laminectomies with three right posterior rhizotomies, the group III to laminectomies with three right anterior rhizotomies, and the group IV to laminectomies with three right anterior and posterior rhizotomies.

Scoliosis was induced in group II, III and IV. There was no significant statistical difference in the degrees of curvatures among these three groups. The convexity of the curvature faced to the side of the divided roots. In group III and IV, scoliotic curvatures were obvious within two weeks, but there were no considerable changes thereafter. In group II, the curves progressed slowly up to the 12th week. They were statistically significant at the 4th week and increased continuously thereafter.

The histological findings in the group III and IV showed denervation atrophy of the paravertebral muscles at the apex of the curvature, but there was little or no muscle atrophy in the group I and II.

We came to a conclusion from the experimental results that scoliosis may be induced not only by anterior root paralysis but also by selective posterior root paralysis.

Key words : Scoliosis, Rhizotomy, anterior and posterior

I. 서 론

척추측만증의 원인은 마비성 등 일부 알려진 것도 있으나 상당수에서는 원인을 알 수 없어서 특발성으로 분류하고 있다. 특발성 척추측만증의 원인규명에 있어서 실험적 가설의 대표적인 예로는 척추궁의 동시성 성장의 저해⁷⁾, 물리적

압박에 의한 척추성장의 편측 지연^{8,14)}, 근력의 불균형^{1,2,5,6,9,13,18)} 그리고 척수의 감각 및 고유 수용기관의 이상^{4,10~12,15,19,20,22)} 등을 들 수 있다. 이중 근력의 불균형에 대하여는 Bisgard⁵⁾, Robin¹⁷⁾ 및 석²⁾ 등이 늑간신경 절단으로 척추측만을 유도하여, 근육마비가 척추측만증의 원인이 된다는 것에 대하여는 의견의 일치를 보고 있으며, 이는 임상적으로 마비성 척추측만증과도 부

*본 논문의 요지는 1988년 척추외과학회에서 발표되었음.

*본 논문은 1988년도 서울대학교 병원의 임상연구비 보조로 이루어졌음.

Table 1. Experimental groups

Group	No. of Rabbits	Experiment
I.	17	Bilateral lower dorsal laminectomies and dural incision
II.	11	Same as group I, and three right posterior rhizotomies
III.	9	Same as group I, and three right anterior rhizotomies
IV.	11	Same as group I, and three right ant. and post. rhizotomies

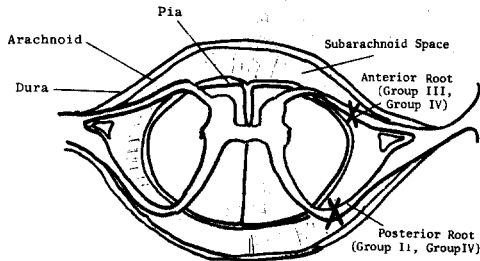


Fig. 1. Diagram of the spinal cord and its roots

Group II : Posterior rhizotomy

Group III : Anterior rhizotomy

Group IV : Anterior and Posterior rhizotomy

실험재료로는 서울대학교병원 동물실험실에서 분양받은 체중 500~600g의 성장기 New Zealand계 백색가토 (*Oryctolagus cuniculus*)를 사용하였으며 자웅의 구별은 두지않았다. 전 실험 기간중 사료는 삼양식품사 제조 페레트형 고품질 압축사료(마우스용)를 사용하였으며 식수는 수도물을 사용하였다. 기타 사육조건은 동일하게 유지하였다. 당초 120마리의 가토로 실험을 시작하였으나 실험기간중 사망등으로 인하여 48마리만을 대상으로 하였다.

2) 연구방법

이들 가토 48마리는 4개의 실험군으로 나누어 실험을 실시하였다(Table 1).

Ketamine 0.5-1.0ml(1.0-2.0ml/kg)를 가토의 둔부에 근육주사하고 20% Urethane 5ml (10ml를) 복강내 주사하여 전신마취를 하였으며 흉배부 주변의 털을 전기삭모기로 삭모한 후 10% 베타딘용액으로 소독하여 준비하였다. 수술방법은 가토의 사지를 묶어 복외위로 고정된 후에 최하부의 늑골을 촉진하여 제1번 요추의 후방 극돌기를 찾아 중앙절개선을 넣어 하흉추부의 극돌기를 노출한 후에 근막 및 극상, 극간인대를 골막하 박리하여 척추후궁을 노출시켰으며, 작은 골검자로 척추후관절에 손상을 주지않도록 주의하면서 제 11, 12 흉추의 후궁기저부까지 2 level의 척추후궁절제술을 시행하였다. 이후에는 3.5배 미세수술용 현미경하에 미세수술도구를 이용하여 척수에 손상을 주지않도록 주의하면서 경막 및 지주막을 절개하였다(제 1군). 그리고 미세가위를 이용하여 제2군에서는 제 10, 11, 12 흉추의 우측 후궁을 선택적으로 절단하였으며, 제3군에서는 우측 전궁을 선택적으로 세부위 절단하였고 제4군에서는 우측 전후궁 모두를 세부위씩 절단하였다. 후궁만을 절단할 때에는 전궁에 손상을 주지않도록 주의하였다(Fig. 1).

수술의 모든 과정은 무균조작하에 정밀하게

합되는 사실이라 할 수 있다. 그러나 척수후근 절단과 감각 및 고유수용의 차단으로 척추축만증이 발생한다는 이론에 대하여는 논란이 많다. Liszka¹⁰⁾와 MacEwen¹¹⁾은 척추후궁절제술 및 척수의 편측 후근절단으로 척추축만이 유발된다고 하여 감각 및 고유수용기관의 중요성을 강조하였다. 또한 Yamada등²⁰⁾은 특발성척추축만증 환자에서 평형감각이 정상인에 비하여 차이가 있다고 보고하여 이 이론을 뒷받침하였다. 그러나 Alexander³⁾등은 척수후근절단시 육안 실험술기상의 오류로 전근이 잘못 절단되었거나 또는 동시에 척수 전후근이 모두 절단되어 척추축만이 유발되었을 것이며 후근절단만으로는 축만이 유발되지 않는다고 하였다.

이에 저자들은 척추축만증이 척수후근만의 절단 또는 척수전후근의 절단으로 유발되는지의 여부를 확인하고, 척추축만증이 어느 척수근의 절단으로 가장 심하게 유발되며 통계적으로 유의한 차이가 있는지 알아보고자 하였으며, 또한 시간의 경과에 따른 발생된 축만곡의 변화를 알아보고자 본 연구를 시행하였다.

II. 연구재료 및 방법

1) 연구재료

Fig. 2. Radiographs of rabbit spine showing sequential changes of curvature in Group I.

시행되었으며, 양극응고기를 사용하여 지혈하였고 경막은 9-0 나일론 봉합사로, 근육과 피부는 3번 실크봉합사로 각각 단속봉합하였으며 염증을 예방하기 위하여 수술후 3일간 가나마이신(50-100mg/kg/day)을 근육주사하였다.

수술전 모든 군의 가토는 방사선 촬영을 하여 척추측만여부를 확인하였으며 수술후 방사선촬영은 2주 간격으로 12주까지 6회에 걸쳐 시행하여 척추측만의 발생여부와 그 정도를 관찰하였다. 방사선촬영시 자세에 의한 척추측만의 가능성을 배제하기 위하여 모든 가토는 Ketamine 0.5ml를 근육주사하여 마취시킨후 두정부와 미골부를 일직선상에 위치시켜 복와위에서 척추전장의 후전방촬영을 시행하였다. 측만각도의 측정은 Cobb씨 방법에 의하였으며, 판독자간의 차이로 인한 오차를 줄이기 위하여 모든 필름은 동일인이 판독하였다.

술후 각 실험군 개개의 기간경과에 따른 측만

각도의 변화는 paired t-test를 사용하여 통계적 유의성을 검증하였으며, 각 실험군 상호간의 술후 기간경과에 따른 측만각도의 변화는 ANOVA-test를 사용하여 통계적 유의성을 검정하였다.

척수전근 및 후근의 절단으로 인한 척추주변 근육의 조직학적 소견을 관찰하기 위하여 수술후 12주에 Ketamine 2.0-3.0ml를 근육주사하여 마취한 후 척추직립근(erector spinae)을 생검하였으며 Hematoxyline & Eosin 염색으로 조직학적 소견을 관찰하였다.

3. 연구결과

1) 기간경과에 따른 측만각도의 변화

제1군에서 술후 기간경과에 따른 측만각도의 변화는 2주, 4주, 6주, 8주, 10주, 12주에 각각 $0.8 \pm 1.3^\circ$, $0.8 \pm 1.2^\circ$, $0.4 \pm 1.0^\circ$, $0.7 \pm 1.0^\circ$, $0.8 \pm 1.0^\circ$, $1.7 \pm 2.5^\circ$ 이었으며 척추측만으로 인정할만한 각도의 변화는 보이지 않았다(Fig. 2).

Fig. 3. Radiographs of rabbit spine showing sequential changes of curvature in Group II.

Table 2. Degrees of curve in each group after operation

Group	No. of Rabbits	Degrees of Curve					
		2wk	4wk	6wk	8wk	10wk	12wk
I.	17	0.8 ± 1.3	0.8 ± 1.2	0.4 ± 1.0	0.7 ± 1.0	0.8 ± 1.0	1.7 ± 2.5
II.	11	8.2 ± 7.9	13.2 ± 9.7	17.7 ± 9.4	20.3 ± 10.5	21.6 ± 10.2	22.6 ± 10.1
III.	9	19.7 ± 11.0	21.4 ± 12.3	18.7 ± 10.6	21.4 ± 7.1	21.2 ± 5.9	22.4 ± 5.3
IV.	11	13.3 ± 4.4	16.7 ± 9.6	17.0 ± 12.8	16.8 ± 11.2	16.4 ± 9.9	16.5 ± 9.1

제 2군에서는 각각 $8.2 \pm 7.9^\circ$, $13.2 \pm 9.7^\circ$, $17.7 \pm 9.4^\circ$, $20.3 \pm 10.5^\circ$, $21.6 \pm 10.2^\circ$, $22.6 \pm 10.1^\circ$ 이었으며 술후 2주부터 비교적 뚜렷한 측만각도의 변화가 나타났다(Fig. 3).

제3군에서는 각각 $19.7 \pm 11.0^\circ$, $21.4 \pm 12.3^\circ$, $18.7 \pm 10.7^\circ$, $21.4 \pm 7.1^\circ$, $21.2 \pm 5.9^\circ$, $22.4 \pm 5.3^\circ$ 이었으며 술후 처음 2주에 현저한 측만각도의 변화가 있었다(Fig. 4).

제4군에서는 각각 $13.3 \pm 4.4^\circ$, $16.7 \pm 9.6^\circ$, $17.0 \pm$

12.8° , $16.8 \pm 11.2^\circ$, $16.4 \pm 9.9^\circ$, $16.5 \pm 9.1^\circ$ 이었으며 역시 술후 2주부터 계속 뚜렷한 측만각도의 변화가 있었다(Fig. 5).

술후 유발된 측만의 방향은 모두 신경근을 절단한 우측 측만을 보였으며, 제12흉추를 침단척추로 하여 4~5개 척추를 포함하는 측만을 나타내었으며 각군간의 측만부위의 차이는 없었다(Table 2).

Fig. 4. Radiographs of rabbit spine showing sequential changes of curvature in Group III.

Table 3. Statistical comparison of curves in each group

Compared groups		Duration after operation					
		2 wk	4 wk	6 wk	8 wk	10 wk	12 wk
		Mean (C.I.)	Mean (C.I.)	Mean (C.I.)	Mean (C.I.)	Mean (C.I.)	Mean (C.I.)
	Group II.	7.1 (-4.66-18.93)	12.4 (0.90-23.81)	16.9* (3.80-29.80)	19.6* (5.18-34.06)	20.8* (5.25-36.41)	20.9* (5.33-36.49)
Group I.	Group III.	18.9* (6.70-31.11)	20.6* (8.42-32.82)	18.3* (4.77-31.86)	20.7* (5.21-36.11)	20.4* (4.85-36.01)	20.7* (5.31-36.29)
	Group IV.	12.5* (1.05-23.96)	15.9* (4.45-27.36)	16.5* (4.01-28.97)	17.2* (4.04-30.28)	15.7* (1.78-29.54)	14.7* (0.86-28.61)
	Group III.	11.8 (-1.83-25.57)	8.3 (-5.04-21.57)	1.5 (-13.04-16.79)	1.1 (-16.86-18.99)	-0.4 (-19.12-18.32)	-0.2 (-18.92-18.52)
Group II.							
	Group IV.	5.4 (-7.56-18.31)	3.5 (-9.08-16.17)	-0.4 (-14.75-14.02)	-2.5 (-18.45-13.16)	-5.2 (-22.50-12.16)	-6.2 (-23.50-11.16)
Group III.	Group IV.	-6.4 (-19.70-6.91)	-4.7 (18.02-8.59)	-1.8 (-16.74-13.09)	-3.5 (-20.40-13.32)	-4.8 (-22.10-12.56)	-6.0 (-23.30-11.36)

C.I. : 95% Confidence interval *p<.05

Fig. 5. Radiographs of rabbit spine showing sequential changes of curvature in Group IV.

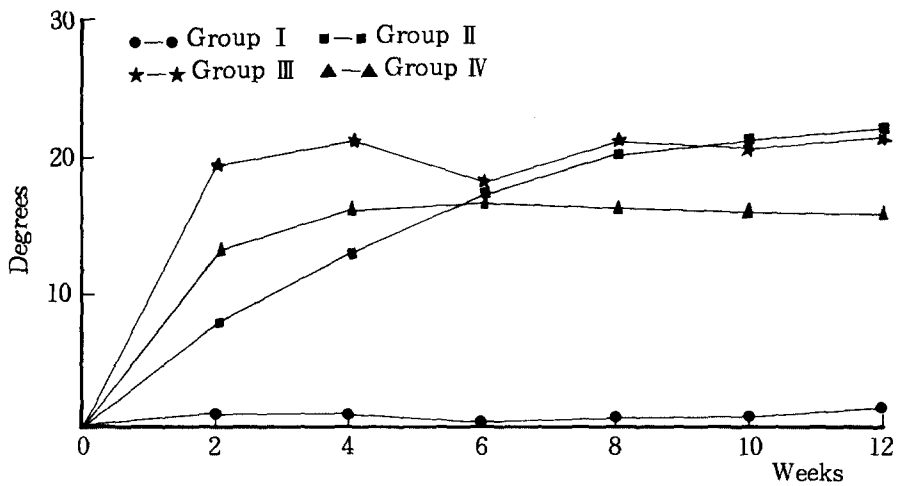


Fig. 6. Sequential change of curves.

2) 각 실험군 상호간의 기간경과에 따른 측만 각도 변화의 통계학적 분석

각 실험군 상호간의 술후 기간경과에 따른 측만 각도 변화의 유의성은 ANOVA-test로 검정하였다. 술후 기간경과에 따른 측만 각도의 변화는

Fig. 7-a. Microscopic finding of Group I. The size and shape of muscle fibers are well preserved(Hematoxylin-Eosin. x100).

Fig. 7-b. Microscopic finding of Group II. Muscle fibers show slight variation in size and shape(Hematoxylin-Eosin. x100).

Fig. 7-c. Microscopic finding of Group III. Muscle fibers are small and angulated(arrow) and there is marked variation in size and shape(Hematoxylin-Eosin. x100).

Fig. 7-d. Microscopic finding of Group IV. Muscle fibers show marked variation in size and shape, group atrophy(arrow), small angulated fibers, fatty infiltration and thickening of endomysium(Hematoxylin-Eosin. x100).

대조군인 제1군과 비교하여, 제2군에서는 수술 제4주부터, 제3군과 제4군에서는 수술 제2주부터 통계적으로 유의하였다($p < .05$).

제2군, 제3군 및 제4군 상호간의 수술 기간경과에 따른 측만각도의 변화는 통계적으로 유의하지 않았다($p > .05$) (Table 3).

3) 측만각도의 진행

제3군 및 제4군에서는 측만각의 뚜렷한 변화가 2주 이내에 나타났으나 이후에는 각도의 증가가 거의 없었다. 그러나 제2군에서는 측만각이 점차 증가하는 양상을 보였고 4주째에 통계적으로 유의하였으며 이후 측만각도가 계속 증가하는 양상을 보였다(Fig. 6).

4) 조직학적 소견

조직검사는 척수신경 절단으로 마비된 근육의 조직학적 변화를 보고자 하였으며 척추직립근을

생검하였다. 척추후궁절제술만 시행한 대조군에서는 근섬유의 크기와 모양이 정상으로 유지되었으며, 척수후근을 절단한 제2군에서는 근위축 소견이 보였으나 뚜렷하지 않았다. 척수전근(제3군) 또는 척수전후근절단군(제4군)에서는 근섬유의 크기의 감소, 비후된 근섬유내초, 호염기성 변성 및 소형의 각섬유(small angulated fiber)를 보이는 부위도 있었으며, 또한 군 위축(group atrophy), 또는 지방세포침윤을 보이는 부위도 관찰되어 탈신경근위축(denervation atrophy)이 현저함을 알 수 있었다(Fig. 7).

IV. 고 찰

척추측만증이 척수의 감각신경의 이상으로 발

생할 수 있다는 가설은 여러 연구들에^{4, 10~12, 15, 19, 20, 22}) 의해 지지받고 있다. Liszka¹⁰⁾와 MacEwen^{11, 12)}은 가토에서 척추후궁절제술후 경막내 척수후근을 절단하여 측만증을 유발하였으며, 척추측만증의 발생원인으로 감각 및 고유수용기관의 장애를 강조하여 운동신경의 마비보다 더 중요하다고 하였다. 그러나 Alexander³⁾ 등은 토끼실험에서 척수후근의 절단만으로는 측만이 유발되지 않으며, 만약 측만이 유발된다면 이는 수술시에 기술적 오류로 인하여 전근 또는 전·후근이 모두 절단되어 척수전각세포에 손상을 주었기 때문이라고 하였다. 그후 Pincott와 Taffs^{15, 16)} 등은 원숭이에서 척수후근의 절단으로 측만증을 유발하였으며, 또한 소아마비백신을 원숭이의 척수강내로 주사하여 측만증을 유발시킨후 척수의 조직학적 변화를 관찰하였다. 그 결과 척수의 전각보다는 후각 및 Clarke's column의 변화가 더 현저하였으며 척추측만증의 발생에 감각 및 고유수용기관의 이상이 더 큰 영향을 미친다고 하였다.

이에 본 실험에서는 과연 척수후근의 선택적 마비로 측만이 유발되는지의 여부와 측만의 정도 및 시간 경과에 따른 측만의 변화를 알고자 하였다. 또한 동물실험상 문제가 되어온 척수후근과 전근의 해부학적 확인과 선택적인 수술적 절단을 보장하기 위하여 현미경하 미세수술법을 활용하였다.

Liszka¹⁰⁾는 척수후근을 5개 절단하면 수술즉시 측만이 생기며 점차 더 심해지고 구조적이 된다고 하며, 3개의 척수후근절단후에는 수술 다음날 측만이 발생하나 점차 그 측만이 감소한다고 하였다. 이에 대해서는 5개의 척수후근절단후에는 고유수용기관의 이상으로 측만이 발생하나, 3개의 후근절단후에는 척수의 보상작용으로 측만이 감소한다고 하였다. 그러나 MacEwen¹¹⁾은 척수후근을 2개 절단하여 평균 46°의 측만을 유발하였으며, 척수후근을 많이 절단할수록 발생하는 측만은 더 심해진다고 하였다. 반면에 Pincott와 Taffs¹⁶⁾는 비슷한 실험을 하였으나 척수후근의 절단한 갯수와 측만의 정도는 연관이 없다는 주장을 하였다. 저자들은 3개의 척수후근을 절단하여 유의한 측만을 유발시켰으며, 이 측만의 방향은 Liszka¹⁰⁾, MacEwen¹²⁾, Pincott & Taffs¹⁶⁾ 등과 같이 후근의 절단부위에서 절단 방향을 향하였다.

유발된 측만의 정도에 대하여는 척수전후근의

절단으로 더 심한 측만이 발생한다는 보고(Liszka¹⁰⁾)도 있으며, 저자들의 실험에서는 척수후근, 척수전근 또는 척수전후근의 절단으로 측만이 유발되었으나 각 군들간의 통계적 차이는 발견할 수 없었다. 그러나 시간경과에 따른 측만의 진행양상은 각 군간의 유의한 차이가 있었는데, 척수전근 또는 전후근을 절단한 군에서는 수술후 2주 이내에 현저한 측만이 발생하였으나 4주 이후에는 측만은 더 이상 증가하지 않았다. 그러나 척수후근만을 절단한 군에서는 처음에는 뚜렷한 변화를 보이지 않았으나 12주까지 측만이 지속적으로 증가하는 양상을 보였다.

척추주변근육의 조직학적 소견에서 척수전근 또는 전후근의 절단으로 현저한 근위축의 소견이 보였으나 후근만의 절단으로는 근위축의 소견이 거의 없었다.

이러한 척추측만의 양상 및 조직학적 소견으로 미루어 볼때 척수후근으로 유발되는 척추측만의 발생기전은 척수전근절단 또는 늑간신경의 절제로 인한 운동신경 마비로 인한 척추측만증의 발생기전과는 다른 것을 나타내며, Yamada^{20, 20)} Yamamoto²²⁾ 등의 특발성척추측만증환자에서 평형감각이상, 고유수용감각의 이상이 있었다는 임상보고는 이를 뒷받침하는 것이라 하겠다.

V. 결 론

저자는 현미경하 미세수술법을 이용하여 유약가토 48마리를 대상으로 척추후궁절제술 및 경막절개만 시행한 군, 척수후근절단군, 척수전근절단군 및 척수전후근 모두를 절단한 4개의 실험군으로 나누어 실험하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전근절단군 및 전후근절단군과 더불어 후근절단군에서도 측만증이 유발되었다.
2. 유발된 측만곡의 정도에 있어서 이들 상호군간의 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$).
3. 전근절단군 및 전후근절단군에서는 2주후 현저한 측만이 유발되었으나 4주 이후에는 측만각의 증가가 없었다.
4. 후근절단군에서는 12주까지 측만각이 계속 증가하는 양상을 보였으며 4주에 통계적으로 유의하였다.
5. 전근절단군과 전후근절단군에서는 탈신경

근위축 소견을 보였으나 후근절단군에서는 뚜렷하지 않았다.

REFERENCES

- 1) 석세일, 안제환, 성상철의 4인 : 전기자극을 이용한 실험적 척추측만증. 대한정형외과학회지. 21 : 729-738, 1986.
- 2) 석세일, 최인호, 이상훈, 조세현, 노상권 : 흉부신경절제로 유발된 척추측만증에 관한 연구. 대한정형외과학회지. 22 : 1416-1426, 1987.
- 3) Alexander M.A., Bunch W.H., Ebbeson S. O.E. : Can experimental dorsal rhizotomy produce scoliosis? *J Bone Joint Surg A* : 1509-1513, 1972.
- 4) Barrios C., Tunon M.T., De Salas J.A., Beguiristain J.L., Canadell J. : Scoliosis induced by medullary damage : An experimental study in rabbits. *Spine* 12(5) : 433-439, 1987.
- 5) Bisgard J.D. : Experimental thoracogenic scoliosis. *J Thorac Cardiovascular Surg* 4 : 435-442, 1935.
- 6) Bisgard J.D., Musselman M.M. : Scoliosis. Its experimental production and growth correction : Growth and fusion of vertebral bodies. *Surg Gyne Obst* 70 : 1029-1036, 1940.
- 7) Engel D. : Experiments on the production of spinal deformities by Radium. *Am J Roent Radium Ther Nucl Med* 42 : 217-220, 1939.
- 8) Langenskiold A., Michelsson J.E. : Experimental progressive scoliosis in the rabbit. *J Bone Joint Surg* 43B : 116-120, 1961.
- 9) Langenskiold A. : Growth disturbance of muscle : A possible factor in the pathogenesis of scoliosis, in Zorab PA(Ed). "Scoliosis and Growth". Churchill Livingstone, London, 1971, pp 85-94.
- 10) Liszka O. : Spinal cord mechanism leading to scoliosis in animal experiments. *Acta Med Pol* 2 : 45-63, 1961.
- 11) MacEwen G.D. : Experimental scoliosis. in Zorab PA(Ed) "Proceedings of a second symposium on scoliosis" E & S Livingston, Edinburgh and London, 1968, pp 18-20.
- 12) MacEwen G.D. : Experimental scoliosis. *Clin Orthop* 93 : 69-74, 1973.
- 13) Miles M. : Vertebral changes following experimentally produced muscle imbalance. *Arch Phy Med*. 28 : 284-289, 1947.
- 14) Nachlas I.W., Borden J.N. : The cure of experimental scoliosis by direct growth control. *J Bone Joint Surg* 33 : 24-33, 1951.
- 15) Pincott J.R., Taffs L.F. : Experimental scoliosis in primates : A neurological cause. *J Bone Joint Surg* 64B : 503-507, 1982.
- 16) Pincott J.R., Taffs L.F. : Scoliosis caused by section of dorsal spinal nerve roots. *J Bone Joint Surg* 66B : 27-29, 1984.
- 17) Robin G.C. : Experimental paralytic scoliosis. *Israel J Med Science* 2 : 208-211, 1966.
- 18) Schwartzmann J.R., Miles M. : Experimental production of scoliosis in rats and mice. *J Bone Joint Surg* 27 : 59-69, 1945.
- 19) Trontelj J.V., Pecak F., Dimitrijevic M. Jr. : Segmental neurophysiological mechanisms in scoliosis. *J Bone Joint Surg* 61 B : 310-313, 1979.
- 20) Yamada K., Ikata T., Yamamoto H., et al : Equilibrium function in scoliosis and active corrective plaster jacket for the treatment. *Tokushima J Experimental Medicine*. 16 : 1-7, 1969.
- 21) Yamada K., Yamamoto H., Tamura T., Tezuka A. : Development of scoliosis under neurologic basis, particularly in relation with brain-stem abnormalities. *J Bone joint Surg* 56A : 1764-1765, 1974.
- 22) Yamamoto H., Tani T., MacEwen G.D., Herman R. : An Evaluation of Brainstem Function as a Prognostication of Early Idiopathic Scoliosis. *J Pediatr Orthop* 2 : 561-567, 1982.