

가토에서 전기자극을 이용한 실험적 척추측만증

서울대학교 의과대학 정형외과학교실 · 재활의학과학교실*

안제환 · 석세일 · 성상철 · 최인호 · 이상훈 · 한태륜* · 차승익

— Abstract —

Experimental Scoliosis Induced by Electrical Stimulation

Jae Whan Ahn, M.D., Se Il Suk, M.D., Sang Chul Seong, M.D., In Ho Choi, M.D.,
Sang Hoon Lee, M.D., Tai Ryoan Han, M.D.* and Seung Ik Cha, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery and Rehabilitation Medicine*, Seoul National University
Hospital, Seoul, Korea

Animal experiment was carried out to measure the physiologic changes of thoracic or thoracolumbar spine that occurred as a result of electrical stimulation, and to evaluate the usefulness of electrical stimulation as a possible treatment for scoliosis.

Unilateral electrical stimulations were applied to the back muscle of immature rabbits. They were subgrouped into medial, intermediate, and lateral muscle stimulated groups in order to observe the effects of various electrode placements.

The radiograms were taken every other week to observe the changes of the spinal curvatures for the period of 12 weeks.

The histological studies of the muscles, which were obtained from the stimulated(right) and the non-stimulated(left) sides at the same level, also were carried out to determine the response of the muscles to the electrical stimulation.

The results were as follows.

1. A significant scoliotic curvature was observed two weeks after electrical stimulation, and those curvatures did not change more for the next six weeks in spite of prolonged stimulation.
2. Scoliotic curvature induced by electrical stimulation for eight weeks remained unchanged for another four weeks after stopping stimulation.
3. There were no statistical differences in the induced scoliotic curvature among the three groups stimulated at different sites of the medial, intermediate, and lateral regions respectively.
4. A prolonged unilateral electrical stimulation could induce the scoliosis, and may be used as a method for treatment of scoliosis.

Key Words: Experimental scoliosis, Electrical stimulation.

서 론

척추측만증은 척추가 측방으로 편위되거나 회전이 일어난 변형으로서 만곡이 심해지면 미관상의 결함뿐만 아니라 심폐기능의 장애를 초래하여 활동능력이 저하되고 조기에 사망하게 된다. 따라서 척추측만증은 조기에 발견하여 치료함으로써 만곡도를 감소시키고 합병증을 예방하는 것이 무엇보다도

중요하다.

척추측만증의 발생원인에 대하여는 현재까지 확실히 규명된 바 없으며 다만 전신적으로 유전적 이상^{3, 4)}, 영양결핍^{5, 6)}, 내분비 이상 및 척추의 생체역학이상 등에 대한 가설이 제기되고 있다. 또한 국소적으로는 척추주위의 근육⁷⁾, 인대⁸⁾, 신경^{7, 9)}, 척추성장판^{8, 14, 15)} 및 늑골¹⁶⁾ 등에 대한 수술적 처치를 가함으로써 실험적으로 척추측만증을 유발시켜 그 원인을 규명하고 이를 치료의 한 방법으로 도입하

려는 노력이 계속되고 있다.

1975년 Monticelli 등¹⁰⁾과 Olsen 등²¹⁾이 각기 처음으로 토끼와 개의 편측 흉배부 근육에 전극과 함께 전원까지 삽입하여 지속적인 전기자극을 가함으로써 척추측만증 유발시켰으며, 1976년 Axelgaard⁶⁾는 3마리 고양이의 편측 흉배부 근육에 전기자극을 가하여 급성 척추측만증을 일으킨 결과 피하자극과 피부자극간에는 차이가 없으나 척추 중앙에서 외측으로 멀리 떨어지게 하여 자극할수록 만곡도가 증가되는 것을 보고하였다.

그 이후 전기자극이 측만곡의 교정에 좋은 결과를 가져왔다는 임상적^{5, 6, 10, 11)} 및 실험적^{22, 30)} 보고가 있었으나, 하루에 일정시간을 일정기간동안 피하전기 자극을 가할 경우 척추측만증을 유발시킬 수 있는지? 또한 전극의 위치를 달리하여 지속적인 전기자극을 가할 경우 측만곡도에 변화가 있는지?에 대해서는 아직까지 정립된 이론이 없는 실정이다.

이에 저자는 실험적으로 하루에 8시간씩 일정기간 동안 유약가토의 흉배부 근육에 피하전기 자극을 가함으로써, 구조성 척추측만증의 유발여부 및 전극의 위치에 따른 측만곡도의 변화를 규명하고자 다음과 같은 연구를 하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험재료

실험동물로서는 체중 750~800그램의 성장기 유

약가토를 자웅 구별없이 사용하였으며 동일한 사료로 같은 조건하에서 사육하였다.

2. 실험방법

마취는 Ketamine 1cc를 가토 둔부의 근육내에 주사하고 20% urethane 5cc를 복강내에 주사하여 전신마취한 후 배부주위 및 그 우측의 털을 제거하고 무균조작하에 스테인레스 옷핀을 피하까지 뽑아 전극으로 사용하였다. 전극은 제 7 흉추 및 제 11 흉추 수준의 우측에 각기 한개씩 삽입하여 상부의 전극을 음극으로 하부의 전극을 양극으로 사용하였다 (Fig. 1).

총 42마리의 유약가토를 다음과 같은 4 군으로 나누어 실험을 진행하였다.

제 1 군(12마리): 흉배부 내측근육(척추주위근육)의 전기자극군

제 2 군(10마리): 흉배부 중간근육의 전기자극군

제 3 군(12마리): 후방액와선에 해당하는 흉배부 외측근육의 전기자극군

제 4 군(8마리): 대조군으로서 전기자극을 가하지 않은 군

전기자극기는 본 교실에서 제작한 것으로 110V 가 정용 교류전원을 사용하였으며, 자극지속시간 2.2

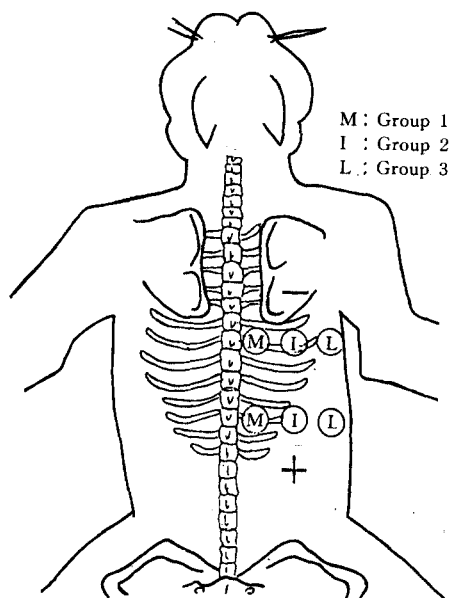


Fig. 1. Placements of the electrodes.

Fig. 2. Showing the electrical stimulator and a rabbit which the P-A spine radiograph is taken.

Fig. 3. Roentgenographs of spine, before(left) and after(right) electrical stimulation.

msec., 주파수 30Hz. 및 강도 30~40mA의 특징을 가지며 9초간 자극하여 근수축이 일어나게 하고 9초간 쉬는 것을 반복하도록 제작하였다.

전기자극 방법은 가토를 복와위로 한 다음 구간을 튼튼한 천으로 감싸고 상지와 하지를 밖으로 내어 놓은 후 가토를 감싼 천을 전기자극대에 고정시켜 공중에 매달리도록 하였다. 이러한 방법으로 낮 8시간 동안은 전기자극을 가하고, 전기자극을 가하지 않는 시간에는 토끼장에 넣어 먹이를 먹도록 하였다.

구조성 척추측만증의 생성여부 및 측만곡도를 측정하기 위하여 모든 군의 가토는 전신마취하에 복와위로 후·전방척추 방사선 촬영을 실시하였으며(Fig. 2), 측만곡도의 측정은 Cobb의 방법을 이용하였다(Fig. 3).

자극기간과 측만곡도와의 관계를 관찰하기 위하여 척추방사선 촬영은 전기자극 시작하기 전, 전기자극 제 2주, 제 4주, 제 6주, 제 8주에 시행하였으며 또한 일단 형성된 척추측만곡이 일정기간 전기자극을 가하지 않을 경우, 측만곡이 자연적으로 소실되는지의 유무를 알아보기 위하여 8주까지 전기자극을 가하고, 그후 전기자극을 하가지 않고 4주간을 더 사육한 후 동일한 방법으로 방사선 촬영

을 실시하였다(Fig. 3).

전기자극을 가한 근육의 현미경적 소견을 관찰하기 위하여 제 1, 2, 3군에서 각기 3마리씩 무작위 선택하여 제 12주에 측만곡이 형성된 가토의 오목한 쪽의 근육과 같은 수준의 볼록한 쪽의 근육을 채취하고 Hematoxylin-Eosin 염색을 한 후 현미경적 소견을 관찰하였다.

실험결과

처음에는 제 1군, 12마리, 제 2군 10마리 및 대조군 8마리로서 총 42마리의 유약가토를 대상으로 실험에 임하였으나 수 주후부터 죽은 가토가 있어서 8주까지 생존한 가토는 제 1군 7마리, 제 2군 6마리, 제 3군 9마리 및 대조군 7마리이었다.

제 1군에서는 제 4주 이후부터 가토가 죽기 시작하여 6주이전에 3마리, 8주 이전에 2마리가 죽었으며 전기자극후 8주까지 생존한 가토는 7마리였고 12주까지 생존한 가토는 5마리였다. 전기자극 기간별 척추측만곡도는 전기자극기간 0, 2, 4, 6, 8주에 각기 $0.75^{\circ} \pm 1.22^{\circ}$, $8.25^{\circ} \pm 4.56^{\circ}$, $9.92^{\circ} \pm 5.43^{\circ}$, $11.11^{\circ} \pm 5.56^{\circ}$ 및 $8.00^{\circ} \pm 3.11^{\circ}$ 의 측만곡이 형성되었다(Table 1).

Table 1. Degrees of scoliosis induced in the Group of medial muscle stimulation

Specimen	Levels/wks	0	2	4	6	8	12
1	T7-L2	0	4	5	5	9	5
2	T6-L1	3	10	20	15	9	7
3	T3-T10	0	9	5	9	7	5
4	T5-T12	2	14	5	6	6	6
5	T3-T10	0	7	12	8	9	4
6	T5-T12	3	4	10	7	3	—
7	T6-T12	0	10	7	15	13	—
8	T7-L2	0	6	8	13	—	—
9	T7-T12	0	19	18	22	—	—
10	T5-T12	0	4	14	—	—	—
11	T6-L 2	0	7	12	—	—	—
12	T5-T12	1	5	3	—	—	—
Mean		0.8	8.3	9.9	11.1	8.0	5.4
S.D.		1.2	4.6	5.4	5.6	3.1	1.0

Table 2. Degrees of scoliosis induced in the Group of intermediate muscle stimulation

Specimen	Levels/wks	0	2	4	6	8	12
1	T6-T12	0	6	4	8	5	5
2	T6-L1	0	3	10	8	9	5
3	T6-T12	8	10	5	6	5	5
4	T6-L1	0	3	8	6	6	6
5	T5-T11	0	6	11	7	7	4
6	T6-T12	0	4	13	8	10	—
7	T6-L1	0	9	5	11	—	—
8	T5-T12	0	5	5	0	—	—
9	T5-T12	0	7	7	—	—	—
10	T6-T12	0	18	—	—	—	—
Mean		0.8	7.1	7.6	7.7	7.0	5.0
S.D.		2.5	4.5	3.2	1.7	2.1	0.6

제 2군에서는 2주 이후부터 가토가 죽기시작하여 4주 이전에 1마리, 6주 이전에 1마리, 8주 이전에 2마리가 죽었으며, 전기자극후 8주까지 생존한 가토는 6마리였고, 12주까지 생존한 가토는 5마리였다. 전기자극 기간별 척추측만곡도는 전기자극기간 0, 2, 4, 6, 8주에 각기 $0.80^{\circ} \pm 2.53^{\circ}$, $7.10^{\circ} \pm 4.48^{\circ}$, $7.56^{\circ} \pm 3.17^{\circ}$, $7.75^{\circ} \pm 1.70^{\circ}$, $7.00^{\circ} \pm 2.10^{\circ}$ 이었다(Table 2).

제 3군에서는 2주 이후부터 가토가 죽기시작하여 4주 이전에 2마리, 6주 이전에 1마리가 죽었으며 전기자극후 8주까지 생존한 가토는 9마리였고, 12주까지 생존한 가토는 8마리였다. 전기자극 기간별 척추측만곡도는 전기자극기간 0, 2, 4, 6, 8

주에 각기 $0.75^{\circ} \pm 1.60^{\circ}$, $8.17^{\circ} \pm 3.27^{\circ}$, $9.10^{\circ} \pm 3.28^{\circ}$, $6.89^{\circ} \pm 2.62^{\circ}$ 및 $7.38^{\circ} \pm 2.45^{\circ}$ 였다(Table 3).

대조군에서는 4주 이전에 1마리가 죽었으며 8주까지 생존한 가토는 7마리였고 12주까지 생존한 가토는 5마리였다. 기간별 척추측만곡도는 0, 2, 4, 6, 8주에 각기 $1.50^{\circ} \pm 2.83^{\circ}$, $1.63^{\circ} \pm 4.78^{\circ}$, $1.86^{\circ} \pm 2.12^{\circ}$, $0.00^{\circ} \pm 4.40^{\circ}$ 및 $1.00^{\circ} \pm 2.71^{\circ}$ 이었다(Table 4).

이 결과를 통계학적으로 검정한 결과 전기자극군인 제 1군, 제 2군 및 제 3군 사이에는 $F_{.05}(2, 15) = 0.3278$ 으로서 서로 유의한 차이가 없는 반면 전기자극을 가하지 않은 대조군과는 뚜렷한 차이가 있었다(제 1군 : $F_{.05}(1, 10) = 13.28$, 제 2군 : $F_{.05}(1, 10) = 13.28$, 제 3군 : $F_{.05}(1, 10) = 13.28$).

Table 3. Degrees of scoliosis induced in the Group of lateral muscle stimulation

Specimen	Levels/wks	0	2	4	6	8	12
1	T7-L1	0	7	13	11	8	4
2	T6-T12	0	5	6	10	10	6
3	T6-L1	0	6	5	3	6	4
4	T6-L1	0	8	15	8	7	14
5	T6-L1	0	12	6	5	7	9
6	T5-T11	0	11	10	5	3	4
7	T3-T11	0	5	7	5	11	10
8	T2-T8	1	8	8	7	7	7
9	T7-L1	0	15	10	8	0	—
10	T4-T12	3	10	11	—	—	—
11	T6-L1	0	4	—	—	—	—
12	T5-L12	5	7	—	—	—	—
Mean		0.8	8.2	9.1	6.9	7.4	7.3
S.D.		1.6	3.3	3.3	2.6	2.5	3.6

Table 4. Degrees of scoliosis in the control Group

Specimen	Levels/wks	0	2	4	6	8	12
1	T6-L1	-2	3	3	-3	3	4
2	T6-L1	4	-8	2	-8	2	1
3	T6-L1	-2	3	3	3	3	10
4	T6-L1	3	0	4	0	4	3
5	T6-L1	1	3	-2	3	-2	0
6	T6-L1	0	0	3	0	0	—
7	T6-L1	6	9	0	5	-3	—
8	T6-L1	2	3	—	—	—	—
Mean		1.5	1.6	1.9	0	1.0	3.0
S.D.		2.8	4.8	2.1	4.4	2.7	3.6

(1, 10)=20.63, 제 3 군 : F. 0.5(1, 10)=15.88). 또한 전기자극 기간별 척추측만곡 발생은 0 주와 2 주사이에서는 통계학적으로 유의한 차이가 있는 반면 나머지 2주, 4주, 6주 및 8 주사이에는 유의한 차이가 없었다(Table 5).

이상의 결과는 전기자극을 가할 척추측만곡이 최초 2 주에 발생하여 유지된다는 것을 의미하며, 내측 또는 외측 흉배부 피하에 전극을 관통시켜 자극을 가하더라도 척추측만증의 형성에는 큰 차이를 나타내지 못한다는 것을 뜻한다.

일단 형성된 척추측만곡이 일정기간 전기자극을 가하지 않을 경우 측만곡이 자연적으로 소실되는지의 유무를 알아보기 위하여 8주까지 생존한 가토들에 전기자극을 가하지 않고 4주간 더 사육한 후 측만곡도를 측정한 결과 제 1 군에서는 $5.4^{\circ} \pm 1.02^{\circ}$, 제 2 군에서는 $5^{\circ} \pm 0.63^{\circ}$, 제 3 군에서는 $7.25^{\circ} \pm 3.58^{\circ}$

가 잔존하였으며 대조군에서는 $3^{\circ} \pm 3.63^{\circ}$ 의 측만곡이 관찰되었다(Fig. 4). 이를 통계학적으로 검정해 본 결과 8주간 전기자극을 가하여 형성된 측만각도 값과 전기자극을 가하지 않고 4주간 더 사육한 후 측정한 측만각도값 사이에는 유의한 차이가 없었다. 이 결과는 일단 형성된 척추측만곡은 전기자극을 가하지 않더라도 소실되지 않고 계속 유지된다는 것을 시사하는 것이다.

조직학적 소견상 전기자극을 받은측 근육은 반대측 근육과 현저한 소견의 차이를 발견할 수 없었다(Fig. 5). 측근섬유 크기 및 형태, 핵의 크기 및 수, 결합조직등에 차이가 없으며, 단지 한예에서 자극을 받은 근섬유 직경이 31μ 으로서 반대측 근육의 근섬유 직경인 24μ 보다 커져 있고, 핵이 약간 커져 있을 뿐이었다.

Table 5. Statistical analysis of induced scoliosis in each Group

Periods	Group I	Group II	Group III	Group IV
0 : 2 wks	T =5.70 D.F.=22 P<0.005	T =4.45 D.F.=18 P<0.005	T =3.16 D.F.=22 P<0.005	T =0.07 D.F.=14 P>0.1
2 : 4 wks	T =0.82 D.F.=22 P>0.1	T =0.26 D.F.=17 P>0.1	T =0.34 D.F.=20 P>0.1	T =0.13 D.F.=13 P>0.1
4 : 6 wks	T =0.49 D.F.=14 P>0.1	T =0.12 D.F.=14 P>0.1	T =1.71 D.F.=17 P>0.1	T =1.02 D.F.=12 P>0.1
6 : 8 wks	T =1.32 D.F.=14 P>0.1	T =0.68 D.F.=13 P>0.1	T =0.43 D.F.=15 P>0.1	T =0.51 D.F.=12 P>0.1
8 : 12 wks	T =1.78 D.F.=10 P>0.1	T =2.04 D.F.=9 P>0.05	T =0.82 D.F.=14 P>0.1	T =0.91 D.F.=10 P>0.1

D.F.: Degree of Freedom

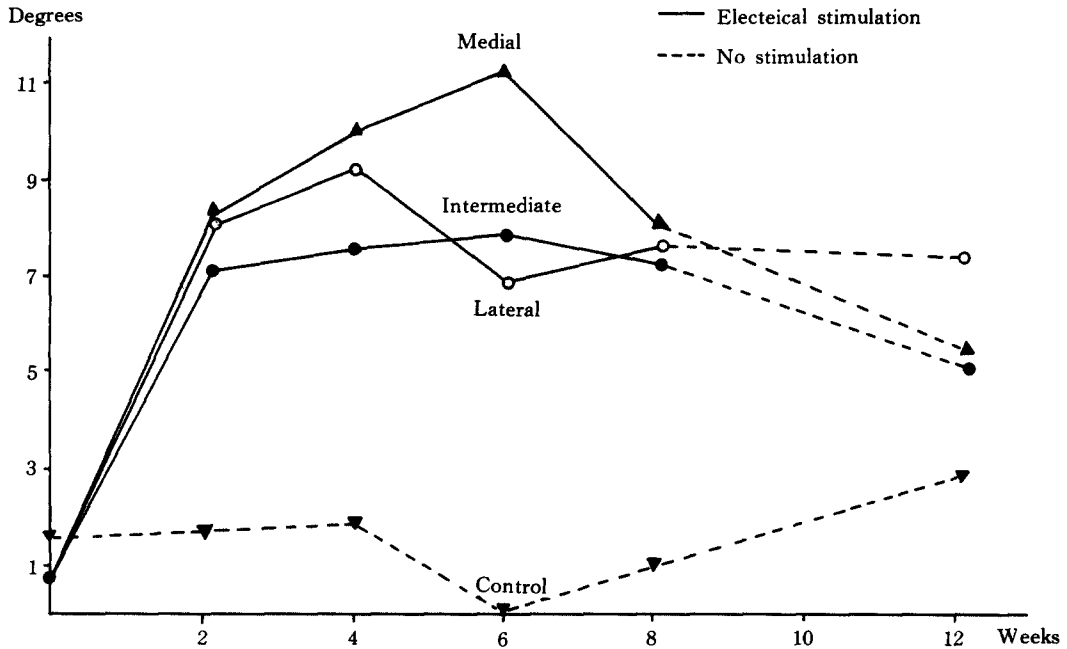


Fig. 4. Scoliosis related to the duration of electrical stimulation.

고 찰

1888년 Von Lesser¹⁰⁾가 최초로 편측 횡경막 신경을 절제하여 실험적으로 신경성 척추측만증을 유발시켰다고 보고한 이후, 1935년 Bisgard¹¹⁾, 1966년 Robin¹²⁾은 편측 늑간신경을 각기 다른 부위에서 절제함으로써 척추측만증을 유발시켰고, 1968년 MacEwen¹³⁾은 척추신경 편측의 후지를 절제함으로써

절제한 쪽으로 향한 척추측만곡을 유발시켰다. 한편, 척추 성장판에 손상을 줌으로써 반대쪽에 척추측만을 일으킨 보고는 1936년 Haas¹⁴⁾, 1940년 Bisgard¹⁵⁾, 1950년 Nachlas 등¹⁶⁾에 의하여 이루어졌다. 그리고 1971년 Langenskiöld¹⁰⁾는 척추를 힘껏 굽힌 상태로 석고붕대 고정을 함으로써 척추측만을 유발시킬 수 있다고 보고하였다. 그리고 특발성 척추측만증이 척추의 편측근육의 과긴장에 의하여 생길 수 있다는 가정과 함께 1975년 Monticelli 등¹⁷⁾은 유

Fig. 5. Histological findings of back muscle after the electrical stimulation(left) compared with control side(tight)

약가토의 편측 척추근육에 전기자극을 가하여 처음으로 척추측만을 유발하였다.

이외에도 척추측만을 일으키는 실험적방법^{3, 13, 20}이 많이 제기되어 왔으나 이러한 방법들이 사람의 특발성 척추측만증을 일으키는 원인과 어떠한 연관이 있는지는 아직 명확히 밝혀져 있지 않다.

척추측만증의 치료에는 수술적요법과 비수술적요법이 있으며, 수술적요법은 성장하는 아동에서 Milwaukee 보조구를 포함한 보존적 요법으로 치료하지만 만곡이 계속 진행되는 경우나 이미 만곡이 60° 이상으로 상당히 진행된 경우에 시행되고 있다. 보존적 요법은 대개 골성장이 끝나기전, 40° 이하의 만곡도를 가진 경우에 실시하여 현재까지는 1945년 Blount에 의해서 고안된 Milwaukee 보조구가 가장 효과적인 것으로 인정되고 있다¹¹. 그러나, Milwaukee 보조구는 첫째, 육체적 활동을 크게 제약하고 둘째, 성장이 끝날때까지 장기간 착용하여야 하며 셋째, 보조구 자체가 비용상 좋지 않다는 등의 여러 문제점들을 포함하고 있다.

그리하여 보조구와 같은 치료효과를 가지면서도 환자에게 불편함을 주지 않는 방법이 모색되던 중 1975년 Monticelli 등¹⁰과 Olsen 등²¹이 각기 처음으로 토끼와 개의 척추의 편측근육에 전기자극을 주어 척추측만곡을 일으킴으로써 치료에 응용시킬 수

있는 길을 열어 놓았다.

Olsen 등²¹과 Monticelli 등¹⁰은 전극과 함께 전원까지 근육에 삽입하여 지속적인 전기자극을 가함으로써 측만곡을 유발시켰다. 이러한 방법으로 인체에 하루종일 계속적으로 전기자극을 가하기에는 여러 가지 불편한 점이 있으므로 본 실험에서는 인체에 적용할 수 있게 하기 위하여 낮 8시간 동안만 전기자극을 가하는 방법을 택하였다.

1975년 Olsen 등²¹은 최장근(longissimus muscle)과 척추근(spinalis muscle)이 장늑근(iliocostalis muscle)이나 후상저근(serratus posterior superior muscle)보다 부피는 더 크지만 척추와 이루는 각도가 작기 때문에 척추에 미치는 힘이 적으므로 전기자극에 사용하는 근육으로 후자를 택하는 이유를 설명하였다. 1976년 Axelgaard⁴는 3 마리 고양이에서 척추주위에 전기자극을 한 결과 피하자극과 피부자극간에 차이가 없으며 음극위치에 만곡의 첨부가 생긴다고 하였으며 전극을 척추중앙에서 외측으로 멀리 떨어지게 하여 자극하면 할수록 만곡도가 2~3배 증가되는 것을 보고하였다. 이것은 척추주위 근육이 배부 외측근육보다 부피가 더 크고 강하게 수축할지라도 배부 외측근육이 척추에 대하여 더 긴 Lever arm을 가지는 생체역학적 장점이 있기 때문이라고 설명하였다. 그러나 1983년 Brad-

ford 등¹¹⁾은 전기자극의 위치에 따른 방사선 소견을 관찰할 결과 척추주위근육에 전기자극을 한 것이 오히려 가장 좋은 효과를 보일 때가 종종 있으므로 Olsen과 Axelgaard가 주장한 것이 항상 옳은 것은 아니라고 주장하였다.

본 실험에서는 과연 전기자극 부위에 따라서 측만곡의 형성에 차이가 있는지를 밝히기 위하여 흉배부 근육을 흉추에 인접한 내측근육, 중간근육 및 외측근육의 3군으로 나누어 전기자극 실험을 진행시킨 결과, 각 군사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 3마리의 고양이를 대상으로 한 Axelgaard의 결과와는 상반되는 것이다.

1975년 Olsen 등¹²⁾은 개에서 2~10Hz.를 사용하여 전기자극을 하였던 바 전압이 클수록 측만곡도가 증가하며 약 1주에서 측만곡이 나타나기 시작하여 4~6주에 최고도에 이르게 되며 그 이상은 전기자극을 계속해도 측만곡도가 더이상 증가하지 않으며, 4주 이하 전기자극을 한 것은 시일이 지남에 따라 발생한 측만곡도가 점차 소실된다고 보고하였다.

Monticelli 등¹³⁾은 토끼에서 전기자극을 한 결과 평균 18일에 척추측만곡이 나타나기 시작하였고, 45일간 전기자극을 한 것은 그 이후부터 측만곡도가 감소하였으나, 90일 및 120일간 전기자극을 한 것은 그 이후부터 전기자극을 가하지 않더라도 오히려 측만곡도가 증가되었다고 보고하였다. 1979년 Bobechko 등¹⁴⁾은 돼지에게 8주동안 전기자극후 다시 8주동안 전기자극없이 관찰한 결과 전기자극으로 발생한 측만곡도가 계속 유지되었다고 보고하였다. 이와 같이 전기자극 기간과 측만곡도와의 관계는 학자들마다 자기 그 실험결과가 다양하게 보고되고 있다.

본 실험에서는 전기자극후 2주에 발생한 측만곡도가 1, 2, 3군이 각기 $8.25 \pm 4.56^\circ$, $7.10 \pm 4.48^\circ$, $8.17 \pm 3.27^\circ$ 로서 모두 통계학적으로 유의한 변화를 나타냈으며, 그 이후부터는 전기자극을 계속해도 측만곡도가 별로 증가하지 않았고 8주 이후부터 12주까지는 전기자극을 가하지 않았으나 측만곡도는 계속 유지되었다.

1975년 Monticelli 등¹³⁾은 측만곡이 일어난 부위의 수핵내 생화학적 변화를 관찰한 결과 Hydroxyproline 함량은 증가하고, Hexosamine 함량은 감소함을 보고하였고, 이것은 1971년 Ponseti²⁵⁾가 보고한 결과와 흡사하였다. 근육은 근섬유의 아데노신 삼인산효소에 대한 조직화학적 반응상 산화형과 당분해형으로 분류하는데, 산화형 근섬유는 주로 산

화대사에 작용하는 효소를 포함하고 있어서 생리학적으로 피로에 잘 견디고 근수축 시간이 서서히 일어나는 성질을 가지며, 당분해형 근섬유는 주로 당원대사에 작용하는 효소를 포함하고 있어서 알칼리성 아데노신 삼인산효소에 대한 조직화학적 반응상 매우 질게 염색이 일어나며 산화형 근섬유와 반대되는 생리학적 특성을 지니고 있다. 그런데, 1979년 Bobechko¹⁴⁾ 등은 전기자극을 한 부위의 근섬유 비율을 관찰한 결과 산화형은 증가하고 당분해형은 감소하며 전극주위의 근섬유에 일부 변성과 재생이 일어나고 근내중격의 두께가 증가하였음을 보고하였다. 반면 1975년 Olsen 등¹²⁾은 전기자극을 받은 근육에는 위축이 있다고 보고하였다. 또한 Nordwall⁶⁾은 특발성 척추측만증 환자에게 전기자극을 준후 자극받은 근육의 천사생검을 한 결과 어떠한 변화도 발견할 수 없었다고 주장하였다.

본 실험에서는 전기자극을 받은 근육과 반대측 근육의 현미경적 소견상 뚜렷한 차이가 없음을 관찰하였다(Fig. 4). 즉 핵의 수에 변화가 없고 지방이나 결합조직에 차이도 없으며 염증세포 침윤도 없었다. 단지 한예에서 근섬유와 핵이 약간 커진 것을 볼 수 있었다.

결 론

성장기 유약가토의 흉배부 근육을 내측근육, 중간근육, 외측근육의 3군으로 나누어 편측에 계속적인 전기자극을 가하면서 2주 간격으로 12주까지 척추 방사선촬영을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전기자극을 가한 전군에서 2주만에 뚜렷한 척추측만곡이 발생하였다.
2. 전기자극후 2주만에 발생한 척추측만곡은 전군에서 제 8주까지 전기자극을 계속해도 더이상 증가하지 않았다.
3. 8주간 전기자극을 가하여 일단 형성된 척추측만곡은 그후 4주간 전기자극을 가하지 않더라도 지속되었다.
4. 흉배부의 내측근육, 중간근육 및 외측근육에 갖기 전기자극을 가함으로써 생긴 측만곡의 정도는 유의한 차이가 없었다.
5. 조직학적 소견상 전기자극을 받은 근육은 반대측 근육과 현저한 차이를 발견할 수 없었다.
6. 이상의 결과는 전기자극에 의한 계속적인 배부근육수축이 척추측만증을 유발할 수 있다는 것을 증명하는 것으로 임상적으로 전기자극이 척추측만증에 대한 하나의 치료방법으로 이용될 수 있다고 사료된다.

REFERENCES

- 1) 석세일 · 조현오 · 최인호 · 임웅생 : 한국인에서의 척추측만증 발생 빈도에 관한 연구. 대한정형외과학회잡지. 제12권, 제 4 호 : 693-697, 1977.
- 2) 석세일 · 최인호 · 이수용 : 마비를 동반한 척추만곡. 대한정형외과학회지, 제19권, 제 1 호 : 58-68, 1984.
- 3) Arkin, A.M. and Simon, N.: *Radiation Scoliosis. J. Bone and Joint Surg.*, 32-A:396-404, 1950.
- 4) Axelgaard, J.: *Scoliotic Curvature Induced by Electrical Stimulation. Master Thesis, University of Southern California*, 1-45, 1976.
- 5) Axelgaard, J. and Brown, J.C.: *Transcutaneous Electrical Muscle Stimulation for the Treatment of Progressive Scoliosis and Kyphosis. Proceedings of the 7th International Symposium on External Control of Human Extremities. Dubrovnik, Yugoslavia*, 7:585-597, 1981.
- 6) Axelgaard, J. and Brown, J.C.: *Lateral Electrical Surface Stimulation for the Treatment of Progressive Idiopathic Scoliosis, Spine* 8: 242-260, 1983.
- 7) Bisgard, J.D.: *Experimental Thoracogenic Scoliosis. J. Thoracic Surg.*, 4: 435-442, 1935.
- 8) Bisgard, J.D. and Musselman, M.M.: *Scoliosis: Its Experimental Production and Growth Correction. Growth and Fusion of Vertebral Bodies. Surg. Gynecology and Obstetrics*, 70: 1029-1036, 1940.
- 9) Blount, W.P., Schmidt, A.C. and Bidwell, G.: *Making of Milwaukee Brace in the Operative Treatment of Scoliosis. J. Bone and Joint Surg.*, 40-A: 526-528, 1958.
- 10) Bobechko, W.P., Herbert, M.A. and Friedman, H.G.: *Electrospinal Instrumentation for Scoliosis: Current Status. Orthop Clin. North Am.*, 10: 927-941, 1979.
- 11) Bradford, D.S., Tangy, A. and Vanselow, J.: *Surface Electrical Stimulation in the Treatment of Idiopathic Scoliosis. Spine* 8:757-764, 1983.
- 12) Carr, W.A., Moe, J.H., Winter, R.B. and Lonstein, J.E.: *Treatment of Idiopathic Scoliosis in the Milwaukee Brace: Long Term Result. J. Bone and Joint Surg.*, 62-A:599-612, 1980.
- 13) Duraiswami, P.K.: *Experimental Causation of Congenital Skeletal Defects and its Significance in Orthopedic Surgery. J. Bone and Joint Surg.*, 34-B: 646-698, 1952.
- 14) Haas, S.L.: *Experimental production of Scoliosis. J. Bone and Joint Surg.*, 21:963-968, 1939.
- 15) Langenskjold, A. and Michelson, J.E.: *The Pathogenesis of Experimental Progressive Scoliosis. Acta Orthopaedica Scandinavica. Suppl.*, 59, 1962.
- 16) Langenskjold, A.: *Growth Disturbance of Muscle: A Possible Factor in the Pathogenesis of Scoliosis. In: P.R. Zorab: Scoliosis and Growth. Churchill-Livingstone, Edinburgh and London*, 1971.
- 17) MacEwen, G.D.: *Experimental Scoliosis. Proc. of a Second Symp. on Scoliosis: Causation, Livingston, Edinburgh and London*, 1968.
- 18) Monticelli, G., Ascaín, E., Salsano, V. and Salsano, A.: *Experimental Scoliosis Induced by Prolonged Minimal Electrical Stimulation of the Paravertebral Muscles. Ital. J. Orthop. Traumatol.*, 1: 39-54, 1975.
- 19) Nachlas, J.W. and Borden, J.N.: *Experimental Scoliosis: the Role of the Epiphysis. Surg. Gynecology and Obstetrics*. 90: 672-680, 1950.
- 20) Nordwall, A.: *Sahlgren Hospital, Goteborg, Sweden (Personal Communication)*
- 21) Olsen, G.A., Rosen, H., Stoll, S. and Brown, G.: *The use of Muscle Stimulation for Inducing Scoliotic Curves. Clin. Orthop.*, 113: 198-211, 1975.
- 22) Olsen, G.A., Rosen, H., Hohn, R.B. and Slocum, B.: *Electrical Muscle Stimulation as a Means of Correcting Induced Caprine Scoliotic Curves. Clin. Orthop.*, 125: 227-235, 1977.
- 23) Pette, D., Smith, M.S., Staudte, H.W. and Vrbova, G.: *Effects of Long Term Stimulation on Some Contractile and Metabolic Characteristics of Fast Rabbit Muscles. Pflugers Arch.*, 338: 257, 1973.
- 24) Ponseti, I.V.: *Skeletal Lesions Produced by Aminonitriles. Clin. Orthop.*, 9: 132-144, 1957.

- 25) Ponseti, I.V.: *The Pathogenesis of the Adolescent Scoliosis. In: Proc. of a Second Symp. on Scoliosis: Causation. Churchill-Livingstone, Edinburgh et London, 1971.*
- 26) Ponseti, I.V. Pedrini, V. and Dohrman, S.H.: *Biochemical Analysis of Intervertebral Discs in Idiopathic Scoliosis. J. Bone and Joint Surg., 54-A: 1793, 1972.*
- 27) Robin, G.C.: *Experimental Paralytic Scoliosis. Israel J. of Medical Sciences, 2: 208-211, 1966.*
- 28) Schultz, A., Haderspeck, K. and Takashima, S.: *Correction of Scoliosis by Muscle Stimulation-Biochemical Analysis. Spine 6: 468-476, 1981.*
- 29) Schwartzmann, J.R. and Miles, M.: *Experimental Production of Scoliosis in Rats and Mices. J. Bone and Joint Surg., 27: 59-69, 1945.*
- 30) Sevastik, J.A., Aaro, S. and Normell, H.: *Scoliosis. Experimental and Clinical Studies. Clin. Orthop., 191: 27-34, 1984.*
- 31) Sevastikoglou, J.A., Aaro, S., Lindholm, T.S. and Dahlborn, M.: *Experimental scoliosis in Growing Rabbits by Operation on the Rib Cage. Clin. Orthop., 136, 282-286, 1978.*
- 32) Stearns, G., Tung Chen, J.Y., McKinley, J.B. and Ponseti, I.V.: *Metabolic Studies of Children with Idiopathic Scoliosis. J. Bone and Joint Surg., 37-A: 1028-1034, 1955.*
- 33) Wickers, F.C., Bunch, W.H. and Barnett, P. M.: *Psychological Factors in Failure to wear the Milwaukee Brace for Treatment of Idiopathic Scoliosis. Clin. Orthop., 126: 62-66, 1977.*
- 34) Wynne-Davies, R.: *Familial (Idiopathic) Scoliosis. a Family Survey. J. Bone and Joint Surg., 50-B: 24-30, 1968.*