

3차원적 재구성을 이용한 선천성 만곡족의 족근부 변화에 대한 고찰

연세대학교 의과대학 정형외과학교실, 해부학교실*

양규현 · 박희완 · 장준섭 · 박형우*

= Abstract =

Three-dimensional Reconstruction of the Tarsal Bones in Congenital Club Foot

Kyu Hyun Yang, M.D., Hui Wan Park, M.D., Jun Seop Jahng, M.D.
and Hyoung Woo Park, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Anatomy, Yonsei University College of Medicine*

Three-dimensional reconstruction is an important tool for the evaluation of the complicated body structures. It makes possible to rotate and separate the components of the structure and to observe the hidden surface of the body, otherwise we can not approach without disturbing its surrounding structures. We performed three-dimensional reconstruction of the tarsal bones in congenital club foot of 32 week fetus. Three-dimensional reconstruction of the tarsal lesion in congenital club foot revealed following important deformities.

1. The talar neck and head was faced to medial and plantar side.
2. The calcaneus was horizontally rotated and its anterior part was located under the talus. It was in severe equinus and moderate varus position.
3. The navicular was rotated to medial side and was subluxated from the talar head.
4. The calcaneus-navicular-talar head complex was horizontally rotated to medial and plantar side.
5. The center of rotation seems to be located in the anterior and inferior portion of the talar body, probably a talocalcaneal interosseous ligament.

In conclusion, these findings give us a fundamental clue to solve patho-mechanism of the congenital club foot. To induce this deformity, strong force must be applied to the tarsal bones forcing them to equinus and medial position.

Key Words : Three-dimensional reconstruction, Club foot, Human fetus.

서 론

선천성 만곡족은 크게 세부류로 나눌수 있는데 첫째는 척수이형성(myelodysplasia)이나 선천성 다발성 관절만곡증(arthrogryposis multiplex congenita) 등과 같은 신경 혹은 근육계 이상이 동반된 경우, 둘째는 신경 및 근육계에 이상 소견없이 여러 선천성 기형이 동반된 경우, 셋째는 특발성 만곡족으로 다른기형을 동반하지 않는 것이다. 이중 첫째는 기형이 심하

고 치료의 결과도 불량하다^{2~5,9~11,16}).

족부의 특징적인 세 변형은 전족부의 내전, 후족부의 내반 그리고 족관절의 침착이며 이러한 변형은 주로 거골, 종골, 주상골이 이루는 관절의 내측, 족저측 전위에 의해서 발생된다. 골격계의 가장 큰 변화는 거골에서 관찰되며 거골 경부와 두부가 내측으로 향하고 거골체는 외회전하며, 족관절에서 전방으로 돌출된다. 종골 또한 심한 변화를 보이며, 종골의 전반부가 거골 밑으로 수평회전하면서 침착과 내반 변형을 일으킨다고 한다^{4,5,12}).

보인 사산아에서 족부의 조직표본을 만들어 이를 3차원적으로 재구성하였으며, 족근부의 변화를 입체적으로 관찰함으로써, 각 족근골의 변화를 토대로 그 기형의 발생요인에 대하여 기하학적 분석과 함께 가능한 원인을 분석하였다.

연구 방법

1. 해부학적 관찰

우측 족부를 외측과 후면에서 관찰한 후(Fig. 1-A, B) 피부와 피하지방을 조심스럽게 제거하며, 뼈, 인대, 관절낭 및 건부착부가 손상되지 않도록 연부조직을 절제하였다. 주상골과 입방골 이하의 원위부를 절제한 후, 경골 전면, 거골체, 거골두 및 거골경부 그리고 종골의 종축을 따라 금속강선을 삽입하여 거골과 종골과의 상호관계를 분석하였다(Fig. 1-C, D).

2. 3차원적 재구성

좌측 하퇴를 경골 간부에서 절단하여 피부와 피하지방을 제거한 후 하퇴와 족부를 10% 포르말린에 고정시킨 다음 25% 포르산으로 탈석회화하고 파라핀으로 포매하였다. 포매시에는 경골이 수직이 되도록 하였으며 족관절이 정면을 향하도록 하였다. 족관절과 족부를 10 μ 두께로 연속절편하여 모두 950개의 절편을 얻었으며 매 10번째 절편을 hematoxylin-eosin으로 염색하였다. 제작된 조직절편의 상은 확대인화기를 이용하여 리스필름에 옮겼으며, 이를 8배로 확대하여 인화하였다. 이 사진을 복사하여 압지(blotting paper)에 붙였으며 이때 조직절편의 두께를 고려하여 도화지 1매의 두께는 0.8mm가 되도록 하였다. 각 족근골을 현미경 시야에서 확인한 후 이를 각 도면에 명시하고 각 뼈가 호트려지지 않는 범위에서 둘레를 정밀하게 잘라내었다. 만들어진 압지들을 쌓아올려 모형을 만들었으며 analytical measuring system(Pampisford, England)의 영상 분석기에서 VIDS VI프로그램을 이용하여 조직 절편의 상을 입력시킨 다음, 3차원 재구성 프로그램으로 재구성을 시도하였다.

정상측 족부의 3차원적 재구성은 성인의 절단표본을 전산화단층촬영(CT)을 위와 동일한 방법으로 실시하였으며 전산화단층촬영(CT)의 조건은 120KV, 100MA, slice thickness 1.5mm, slice interval 1.5mm, level+143, window 1000이었다.

Fig. 1-A, B. Lateral and posterior aspect of the congenital club foot.

Carroll(1978)등은 선천성 만곡족 변형을 보인 태아와 사산아를 수술현미경하에서 관찰하고, 조직표본을 만들어 이를 토대로 최초로 컴퓨터를 이용하여 3차원적으로 재구성을 시도하였으며, 이로써 과거에는 볼 수 없었던 연골모델을 각 뼈의 상호관계를 손상시키지 않고 복원하였다. 그러나 그의 3차원 재구성은 단순히 각 방향에서 족부를 관찰한 것에 지나지 않으며 이를 이용한 족근부의 변화를 각뼈를 중심으로 분석하지 못했으며, 이러한 변화가 무엇 때문에 발생하였는지 유추하지 않았다^{4,5,12)}.

이에 저자들은 태생 32주에 다발성 관절만곡증으로 양측 족부에 선천성 만곡족 기형을

Fig. 1-C, D. Anterior and posterior aspect of the ankle and subtalar joints. **C)** The talar neck and head was markedly deformed and pointed medial and plantar side. The calcaneus was horizontally rotated and was lying beneath the talus in equinus position. The angle between the talus and calcaneus was markedly decreased. **D)** The tuberosity of calcaneus was in marked varus position and its lateral border was very close to the lateral malleolus due to horizontal rotation of the calcaneus.

3. 회전축의 추정

정상과 선천성 만곡족의 3차원 영상에서 각각 거골과 종골의 종축을 구한후 두 영상에서 거골체를 중첩하여 거골두와 종골의 이동을 추적하였다.

결 과

1. 해부학적 고찰

족관절과 족근부를 전방에서 관찰하면 거골의 경부와 두부는, 거골체를 기준으로 내측과 그리고 족저측으로 기울어져 있었다. 종골은 내측으로 회전되면서 전반부가 거골의 바로 아래에 위치하며, 내측으로 회전하는 과정에서 침족과 내반이 동반되었다. 이에 따라 거골과 종골의 장축이 이루는 각은 감소되고, 거골 경부와 종골간의 각도도 0도로 감소되었다.

족관절과 족근부를 후면에서 관찰하면 특징

적인 종골의 내반, 침족 및 내회전에 따른 족관절 외과 후연과의 밀착이 뚜렷이 관찰되며, 족관절 외과도 경골을 기준으로 뒤로 이동되어 있었고, 종골의 침족 변형으로 인하여 거골은 보이지 않았다. 이러한 족근부의 이동으로 족관절과 거골하관절의 후관절낭이 매우 구축되어 있었으며, 종골과 족관절 외과사이의 연부 조직도 매우 짧고 단단하였다(Fig. 1-C, D).

2. 3차원적 재구성

1) 상방향 관찰

족관절과 족근부를 3차원적으로 재구성하고 이를 위에서 내려다 본 결과 거골 경부와 두부는 내측으로 전위되어 있었으며 주상골 또한 내측으로 전위되어 족관절 내과와 밀착되어 있었다. 전족부는 심하게 내전과 내회전이 동반되었으며, 종골의 수평회전으로 인하여 종골 결절부가 족관절 외과 후연에 밀착되어 있었다(Fig. 2-A).

Fig. 2-A. Superior aspect of the reconstructed congenital club foot. The talar neck and head was markedly displaced to medial side. The navicular was located in adjacent to the medial malleolus due to its medial rotation. The calcaneus and cuboid were hidden behind the talus and navicular due to their rotation and displacement(Right side was a superior aspect of reconstructed normal foot for comparison).

Fig. 2-B. Anterior aspect of the reconstructed congenital club foot. The talar neck and head was displaced to medial and plantar side. The calcaneus was horizontally rotated and located in beneath the talus(Right side was an anterior aspect of the reconstructed normal foot for comparison).

2) 전면 관찰

주상골과 입방골의 원위부를 분리한 후 족근부를 전방에서 관찰한 결과 Fig. 1-C에서 관찰된 모습이 그대로 잘 표현되었다. 거골 경부와 두부는 내측 족저측으로 전위되었으며, 종골은 내측으로 수평회전하여 거골의 아래에 위치하였다(Fig. 2-B).

3) 후면관찰

족관절과 족근부를 뒤에서 관찰한 결과 Fig. 1-D에서 관찰된 종골과 족관절 내외과의 관계가 잘 표현되었으며, 종골의 내반, 침족 및 수평회전이 잘 관찰되었다(Fig. 2-C).

4) 내측면 관찰

종골의 내반, 내측 수평회전으로 인한 전족

부의 내전 및 회내전이 잘 관찰되며 주상골과 족관절 내과가 밀착되어 있었다(Fig. 2-D).

5) 외측면 관찰

종골과 입방골의 관계가 잘 표현되며, 입방골의 내측 이동은 주상골에 비하여 뚜렷치 않았고, 종골의 침족위가 잘 관찰되었다(Fig. 2-E).

6) 하방향 관찰

종골의 수평회전이 잘 관찰되며 이에 따른 거골과의 중복이 전반부에서 나타나고, 입방골도 이와 더불어 회전 및 전위되어 있었다. 종골의 수평회전으로 후반부는 족관절 외과와 인접해 있는 것이 관찰되었다(Fig. 2-F).

7) 회전축의 추정

정상측 족근부를 상방향에서 관찰한 결과 거

Fig. 2-C. Posterior aspect of the reconstructed congenital club foot. The calcaneus was in severe equinus position and its posterior aspect was close to the posterior margin of the lateral malleolus due to its horizontal rotation(Right side was a posterior aspect of reconstructed normal foot for comparison).

Fig. 2-D, E. Medial and lateral aspect of the reconstructed congenital club foot. The forefoot was markedly adducted and supinated. The calcaneus was in equinus position and the navicular was rotated to medial side and was adjacent of the medial malleolus(Right side were medial and lateral aspect of reconstructed normal foot for comparison).

Fig. 2-F. Inferior aspect of the reconstructed congenital club foot. Horizontal rotation of the calcaneus was clearly visible(Right side was an inferior aspect of reconstructed normal foot for comparison).

Fig. 3-A, B. Identification of the center of rotation. A) Movement of the calcaneus was traced and assumed the center of rotation. It was located in the mid portion of the talus. B) Next, same procedure was performed in the sagittal plane. It was located in the inferior aspect of the talus. The center of rotation was seemed to be a interosseous ligament.

골과 종골의 장축이 이루는 각은 25도였으며 선천성 만곡족에서는 0도였다. 이 두 영상을 거골체를 중심으로 중복한 결과 종골의 내측회전이 관찰되었다. 동일한 요령으로 족근부를 외측에서 관찰하면 거골과 종골의 종축은 정상축이 25도, 선천성 만곡족은 서로 평행을 이루었다. 두 영상의 거골체를 중복시키면 종골과 거골두가 거골체 하부 중앙을 축으로 회전되어 있었으며, 그 위치는 거골종골간 골간인대의 기시부로 추정되었다.

고 찰

이 연구에서 관찰되는 바와 같이 각 족근골

의 형태학적 특징은 세밀한 해부로 확인이 가능하며, 전체의 윤곽과 각 족근골간의 상호관계는 입체적 영상으로 그 공간 위치를 확인할 수 있었다. 각 족근골의 형태학적 변화는 그 변화가 뚜렷하고 모든 관찰자에 일률적으로 나타나기 때문에 이론이 많지 않지만 각 족근골간의 상호 관계, 변형 및 이에 따른 운동장애에 대해서는 이론이 적지 않다. 그 이유는 각 족근골의 윤곽과 상호 관계를 관찰하기 위해서는 주위 연부조직 특히 건부착부, 인대 및 관절낭을 제거해야 하는데 이러한 조작은 전체의 배열을 흐트러뜨릴 수 있고 거골 혹은 종골을 제거하고 이면을 관찰할 때에는 주위에 많은 손상을 주게 된다^{1,7)}.

이러한 단점을 보완하고 측정 오차를 줄이기 위하여 3차원적 재구성을 시도할 수 있는데, 이것은 Glenn(1975)이 CT scan에서 얻은 2차원적 영상을 층층이 쌓아 올려 그 윤곽을 파악함으로써 입체적 영상을 얻을 수 있음을 제시한 이래, 빠른 속도로 발전하고 있다⁸⁾. 일반적으로 CT영상을 이용하면 골격계의 변화를 쉽게 관찰할 수 있는데, 선천성 만곡족과 같이 어린 나이에 발생하는 질환에서는 골화 중심이 매우 작아 전체를 대표하지 못하며, 대부분을 차지하는 연골 모형의 윤곽 또한 주위 연부 조직과 구분이 어려워 그 분석이 거의 불가능하다. 또한 CT scan에서는 최소 단면 간격이 약 1mm-1.5mm인 관계로 작은 구조물의 분석에는 어려움이 많다²⁾.

이를 극복하기 위하여 조직 절편을 이용하는 방법이 고안되었으며, 현재 미세조직의 입체구조와 발생학 영역에서 많이 응용되고 있다. 그러나 이와같은 방법 또한 미세구조를 확대하여 재구성하는 관계로 여러 조작 과정에서 오차가 발생하며 각 뼈의 윤곽이 불규칙해지면서 전체적인 배열에 미세하나마 변화를 가져올 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 포매시 기준점(reference markers)을 삽입하는데, 기술적으로 어렵고 이 또한 오차를 발생시킬 수 있다. 이 연구에서는 전체 윤곽을 사용한 best fit method를 사용하였다. 이 방법은 전체적인 윤곽이 뚜렷한 구조의 재구성에 주로 사용되는데, 이 방법도 조직 절편이 정확히 제작되지 않을 때에는 큰 오차를 내포할 수 있다^{1,7)}.

정형외과영역에서는 문헌상 1988년 Carroll이 최초로 선천성 만곡족에 이를 응용하였으며, 그간 논란이 되었던 족근부의 변화를 설명하는데 크게 기여하였다. 그는 족관절 외과가 정상보다 뒤쪽에 위치하며, 거골체는 외측으로 회전되어 있고, 주상골은 내측으로 크게 전위되어 족관절 내과에 인접해 있으며, 종골은 내회전된 것을 입증하였다. 그러나 그의 연구에서는 조직표본에서 나타난바와 같이 정상 족부는 경골이 수직인 반면, 선천성 만곡족의 조직 표본은 변형된 족부로 인하여 경골이 비스듬하게 놓였으며 이로 인하여 다른사람은 그 변형을 쉽게 이해하기 어렵고, 각 구조물을 분리시키지 않은 상태로 윤곽만을 관찰했기 때문에 거골과 종골의 변화를 뚜렷이 제시하지 못했다.

이 연구에서는 전체의 윤곽을 파악하고, 경골과 족근골을 부분적으로 분리하여 각 족근골

간의 위치관계를 명시하였으며 그동안 입체적으로 규명하기 어려웠던 거골, 종골, 주상골, 입방골간의 변위를 나타내었다^{4,5)}.

거골은 뼈 모양의 변화에 비하여 위치 변동이 심하지 않으며, 이것은 침착 상태에 있으나 ankle mortise내에서는 회전이 어려운 관계로 고정되어 잘되어 나타난 것으로 추측되며, 종골과 주상골의 이동은 강한 힘에 의해 내측 그리고 족저측으로 회전되면서 종골은 내반 변형이 동반되고 있다^{4,6,12,14,15,17)}. 이러한 종골의 변화는 그 회전축이 거골종골간 골간인대로 추정되어 왔는데 아직까지 이를 증명하지는 못하였다. 이 연구에서도 족근부의 입체적인 이동으로 인하여 중심점을 명확히 규명하였다고 단언할 수는 없으나 기하학적으로 그 위치를 어느 정도 추정할 수 있었다.

이 중심을 이용하여 종골-주상골 관절 socket이 이동한다면 그 힘의 방향은 내측, 족저측으로 생각되며, 이러한 힘의 제공은 아직 논란이 많으나 태생기 후경골근등 하퇴부 후방근육의 발육부전 내지는 신경장애에 따른 상대적 신연장애, 즉 빠르게 자라는 경골의 속도를 이기지 못하여 tenodesis처럼 작용하여 발생한다는 설이 매우 중요한 발생기전으로 주목되고 있다. 그 이유는 후경골근이 하퇴의 경비골 골간인대와 경골의 후면 그리고 비골의 근위내측에서 시작하여 족관절내과의 후연을 지나 종주인대(plantar calcaneo-navicular ligament)를 거쳐 주상골의 결절에 종지하면서 그 건의 일부가 재거돌기(sustentaculum tali)와 설상골, 입방골등에 분포하기 때문에 이 건의 구축은 위에서 열거한 변형의 원동력이 될 수 있기 때문이다^{3,10,11,13,16)}.

본 연구의 결과에서도 주상골의 내측 이동과 종골의 내측 수평이동 그리고 내반과 침착위는 매우 뚜렷하며 이러한 변형의 원동력은 후경골근 및 가자미근등 후방근육에 기인한 것으로 추측되기 때문에 향후 이분야에 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 이런 연구를 통하여 치료에 저항하는 선천성 만곡족의 변화를 발견하여 MRI등 연골의 관찰이 가능한 방법을 통하여 조기에 이를 구분하고 적절한 수술적 가료가 가능토록 추진해 나가야할 것으로 사료된다.

결 론

선천성 만곡족의 족근부를 3차원적으로 재구성하고 족근부를 분리 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 거골경부와 두부는 내측으로 변형되었으며, 주상골은 내측으로 회전되어 족관절 내과와 밀착되어 있었다.

2. 종골은 내측으로 수평이동하면서 심한 침착위와 내반위가 동반되었다.

3. 이러한 변형은 거골두, 주상골, 종골의 복합체가 거골, 종골간 골간인대를 중심으로 회전되어 발생한 것으로 추정된다.

REFERENCES

- 1) 박형우, 강운선: 사진촬영, 복사 및 컴퓨터를 이용한 삼차원 재구성. 대한해부학회지, 24: 54-60, 1991.
- 2) 양규현, 강웅식, 박희완, 정상섭, 김선호, 유선국: CT영상을 이용한 수근부의 3차원적 재구성. 대한정형외과학회지, 26: 1552-1560, 1991.
- 3) Bechtol, C.O. and Mossman, H.W.: *Club foot. An embryological study of associated muscle abnormalities. J. Bone and Joint Surg.*, 32-A: 827-838, 1950.
- 4) Carroll, N.C.: *Pathoanatomy and surgical treatment of the resistant clubfoot. Instructional Course Lectures*, 37: 93-106, 1988.
- 5) Carroll, N.C., McMurty, R.H. and Leete, S. F.: *The pathoanatomy of congenital clubfoot. Orthop. Clin. N. Am.*, 19-1: 225-232, 1978.
- 6) Fahrenbach, G.J., Kuehn, D.N. and Tachdjian, M.O.: *Occult subluxation of the subtalar joint in club foot. J. Ped. Orthop.*, 6: 334-339, 1986.
- 7) Gaunt, W.A.: *Microreconstruction. London, Pitman Medical*, 1971.
- 8) Glenn, W.V., Johnston, R.J., Morton, P.E. and Dwyer, S.J.: *Image generation and display techniques for CT scan data: thin transverse and reconstructed coronal and sagittal planes. Invest. Radiol.*, 10: 403-416, 1975.
- 9) Ippolito, E. and Ponseti, I.V.: *Congenital club foot in the human fetus. A histological study. J. Bone and Joint Surg.*, 62-A: 8-22, 1980.
- 10) Iran, R.N. and Sherman, M.S.: *The pathological anatomy of club foot. J. Bone and Joint Surg.*, 45-A: 45-52, 1963.
- 11) Isaacs, H., Handelsman, J.E., Badenhorst, M. and Pickering, A.: *The muscles in club foot-a histological, histochemical and electron microscopic study. J. Bone and Joint Surg.*, 59-B: 465, 1977.
- 12) McKay, D.W.: *New concept of and approach to club foot treatment. Section 1-principles and morbid anatomy. J. Ped. Orthop.*, 2: 347-356, 1982.
- 13) Ritsila, V.A.: *Talipes equinovarus and vertical talus produced experimentally in newborn rabbits. Acta Orthop. Scand.*, Suppl. 121, 1969.
- 14) Shapiro, F. and Glimcher, M.J.: *Gross and histological abnormalities of the talus in congenital club foot. J. Bone and Joint Surg.*, 61-A: 522-530, 1979.
- 15) Swann, M., Lloyd-Robert, G.C. and Catterall, A.: *The anatomy of uncorrected club foot. A study of rotation deformity. J. Bone and Joint Surg.*, 51-B: 263-269, 1969.
- 16) Tachdjian, M.D.: *Congenital talipes equinovarus. In Pediatric Orthopedics. 2nd ed. pp 2428-2557, Philadelphia, W.B. Saunders, 1990.*
- 17) Waisbrod, H.: *Congenital club foot. An anatomical study. J. Bone and Joint Surg.*, 55-B: 796-801, 1973.