

Common Problems in Skeletally Immature Patients

비대칭 성장판 성장 억제를 이용한
사지 각 변형의 교정장우영 • 최윤성* • 유원준[✉]

서울대학교 어린이병원 소아정형외과, *서울대학교병원 정형외과

Angular Deformity Correction by Asymmetrical
Physeal Suppression in ChildrenWoo Young Jang, M.D., Yun Seong Choi, M.D.*, and Won Joon Yoo, M.D.[✉]

Division of Pediatric Orthopaedic Surgery, Seoul National University Children Hospital,

*Department of Orthopaedic Surgery, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

Angular deformity of extremities in children and adolescents with residual growth is not a rare condition in orthopaedics. Asymmetrical physeal suppression or guided growth method, one of the surgical techniques for correction of angular deformity, is a method of inducing plastic deformation by application of constant external force to a growing bone. Internal fixation devices used for asymmetrical physeal suppression include staples, transphyseal screws, and tension band plates, most representatively the 8-plate. Temporary hemiepiphysiodesis using staples is reported to show a success rate of 60% to 80%. Epiphysiodesis using transphyseal screws has several advantages over staples or 8-plates; smaller skin incision, shorter operation time, no postoperative splint or cast, faster return to daily life. Advantages of 8-plates over staples or transphyseal plates include a longer moment arm, which enables better correction of angular deformity and less suppression of the growth of the nearby normal growth plate. Asymmetrical physeal suppression is a simple and effective surgical method in correcting angular deformity of extremities of children and adolescents. Each of three internal fixation devices discussed in the current article has strengths and weaknesses and superiority in terms of angular correction power and complication rate, however further study is needed. Therefore, the most appropriate device should be selected according to the condition of each patient.

Key words: lower extremity, asymmetrical physeal suppression, staple, transphyseal screw, tension band plate

서 론

성장이 남아있는 소아 청소년에서 사지의 각 변형(angular deformity)은 정형외과 영역에서 드물지 않게 만나는 문제이다. 사지 골의 각 변형은 장골 골간(diaphysis)이나 골간단(metaphysis) 골절 후에 발생하는 부정 유합의 결과일 수도 있고, 또는 성장판에

서 기인한 문제일 수도 있다. 성장판에서 기인한 각 변형은 외상, 감염 또는 Blount 병과 같은 질병으로 인한 성장판의 부분 손상 때문에 초래되는 부분 성장 정지로 인해 발생하기도 하고, 골절이나 감염 후 성장판에의 자극으로 인한 비대칭 과성장의 결과로 발생할 수도 있다. 성장판에서 만들어진 유골의 석회화가 지연되는 구루병에서는 생리적 내반슬이나 외반슬 변형이 악화되며, 성장판에서의 연골화 골화(endochondral ossification) 과정에 장애가 있는 연골무형성증(achondroplasia) 같은 골이형성증에서도 사지의 각 변형이 흔히 발생한다.

각 변형을 교정하는 수술적 방법은 급성 교정(acute correction)

Received April 30, 2015 Revised September 18, 2015 Accepted February 3, 2016

[✉]Correspondence to: Won Joon Yoo, M.D.

Division of Pediatric Orthopaedic Surgery, Seoul National University Children Hospital, 101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 03080, Korea

TEL: +82-2-2072-1966 FAX: +82-2-745-3367 E-mail: yoojw@snu.ac.kr

과 점진적 교정(gradual correction)으로 나누어 생각할 수 있다. 급성 교정은 교정 절골술을 시행하여 한 번에 변형을 교정하는 것을 의미하며, 점진적 교정이란 외고정기를 장착하고 신원 골형성술(distraction osteogenesis) 원리를 이용하여 교정하거나 반골단판 유합술(hemiepiphiodesis)을 시행하는 것이다. 반골단판 유합술은 다시 영구적으로 성장판의 일부를 파괴하여 부분 성장판 성장 정지를 유발시키는 방법과 일시적으로 성장판 일부의 기능을 억제하는 일시적 성장 억제술, 이른바 비대칭 성장판 성장 억제술(asymmetrical physal suppression)로 나눌 수 있다. 영구적인 성장 억제술은 수술 후의 각 교정을 정확하게 예측해야 하는 부담이 있어 어린 나이에는 시행하기가 어렵고 주로 성장이 얼마 남지 않은 청소년에서 시행된다. 비대칭 성장판 성장 억제술의 원리를 이용한 수술법은 내고정물을 제거하면 성장이 재개되기 때문에 상대적으로 더 어린 나이에도 시행할 수 있어 수술 시기를 비교적 편하게 잡을 수 있는 장점이 있다. 또한 수술이 덜 침습적이고 수술 후 회복도 빨라 현재 널리 이용되고 있는 치료법이다. 세 가지의 금속 내고정물이 사용되고 있는데 만족스러운 결과를 얻기 위해서는 각각의 장단점과 발생 가능한 합병증을 잘 고려하여 선택하는 것이 중요하다.

본 론

1. 비대칭 성장판 성장 억제술의 기본이 되는 원리:

Hueter-Volkmann 법칙

1862년에 Hueter와 Volkmann은 압박력이 연골 성장에 미치는 영향에 관한 논문을 각각 발표하였다. 그 내용은 성장판에의 압박력과 성장판 성장 속도는 반비례 관계가 있어서 오목한 곳의 성장판 연골에는 압박력이 작용하여 성장 속도가 저하되고 볼록한 곳의 성장판 연골은 반대로 성장 속도가 빨라진다는 것이다. 정적 외력에 대한 성장판의 반응은 주로 비후대 연골세포에서 일어나는 것으로 알려져 있는데, 이는 비후대가 성장판에서 외력에 의한 변형률이 가장 큰 부위라는 사실과 잘 부합하는 소견이다.¹⁾ 지속적인 압박력이 가해지면 성장판 증식대 연골세포의 수가 줄어들고 비후대 연골세포의 수와 비후대 두께도 감소한다. 또한 주된 기질 단백질인 type II, X collagen 발현도 감소한다. 반대로 지속적인 신장력을 가하면 전체적인 성장판의 두께가 증가하는데 이는 증식대 연골세포의 수와 증식 속도는 변하지 않으나 비후대 세포의 수와 두께가 증가하기 때문이다.²⁾

압박력이든 신장력이든 지속적인 정적 외력과 성장 속도의 변화는 거의 선형(linear)의 관계를 가진다고 알려져 있는데, Stokes 등³⁾은 rat, rabbit, cattle의 척추골과 근위 경골 성장판에서 지속적인 정적 외력에 의한 성장 속도 변화량을 측정하였다. 성장 속도 변화량은 경골이 척추골보다 컸지만 종(species)의 종류나 연령과는 무관하였다고 하였다. 그들의 실험에서 성장 속도의 변화

는 0.1 MPa당 평균 17.1%였다. 흥미로운 점은 성장 속도를 변화시키는 최소한의 임계 외력은 없는 것으로 보이며 매우 큰 압박력에 의한 100% 성장 속도 감소, 즉 성장 정지(growth arrest)는 위의 수치에서 함수적으로 추론하여 계산하면 0.6 MPa 정도의 크기라는 점이다. 실제 임상에서 환자의 근위 경골에 스테이플(staple)을 이용한 골단판 유합술을 시행할 때 스테이플의 변형으로 추정된 stress의 크기는 약 1 MPa 정도인 것으로 알려져 있다.⁴⁾ 한편, Frost⁵⁾가 제안한 ‘chondral modelling’ 이론에 따르면 연골 성장은 신전력과 압박력 모두에 자극되어 촉진되며, 생리적 범위 내의 외력은 성장을 촉진시키나 그 범위를 벗어나 압박력이 없거나 과도한 압박력에 노출된 경우에는 성장이 억제된다.

2. 비대칭 성장판 성장 억제술

비대칭 성장판 성장 억제술 또는 성장 조절법(guided growth method)은 성장 중인 골에 지속적인 외력을 가하여 소성 변형(plastic deformation)을 유도하는 방법이다. 이는 구부러진 나무에 부목을 대어 바로 세우는 것을 형상화한 정형외과의 심볼에서 볼 수 있듯이 매우 오래된 정형외과의 치료 원리라고 할 수 있다. 비대칭 성장판 성장 억제술의 원리를 이용한 수술법에 사용되는 내고정물로는 스테이플, 성장판 통과 나사못(transphyseal screw) 및 8자 금속판(8-plate)으로 대표되는 긴장대 금속판(tension band plate)이 있다.

1) 적응증

성장이 남아있는 소아 환자 중에 성장판에 문제가 없는 각 변형, 예를 들면 골간단의 부정 유합으로 인한 각 변형이나 골간단 연골이형성증 등이 좋은 적응증이 된다. 성장판에 문제가 있는 질환, 예를 들면 구루병, Blount병, 패혈증 후유증으로 인한 성장판 이상 등은 성장판의 잠재력이 낮아 효과가 적고, 뼈가 약하면 나사 못 파손 등의 합병증이 높을 수 있어서 비대칭 성장판 성장 억제술에 적응증이 되지 못한다고 여겨져 왔지만,^{6,7)} 최근의 보고들은 이러한 임상상에서도 비대칭 성장판 성장 억제술을 이용한 반골단판 유합술이 효과적으로 사용될 수 있음을 입증하고 있다.⁸⁾

2) 스테이플

스테이플을 이용한 비대칭 성장판 성장 억제술은 1948년에 Haas⁹⁾가 wire loop를 개의 성장판에 삽입한 실험 결과를 처음 발표하면서 알려졌고, Blount와 Clarke¹⁰⁾가 1949년에 스테이플을 이용한 비대칭 성장판 성장 억제술의 임상 결과를 발표하면서 임상에 널리 사용되게 되었다. 스테이플을 성장판의 한쪽에만 삽입하게 되면(스테이플 반골단판유합술, staple hemiepiphiodesis) 삽입한 부위 성장판의 성장이 억제되고 반대쪽의 잔여 성장판의 성장은 상대적으로 적게 억제되는 효과가 나타나 약간의 길이 단축과 함께 주로 각 변형 교정 효과를 얻을 수 있다(Fig. 1). 토끼를 이용한 동

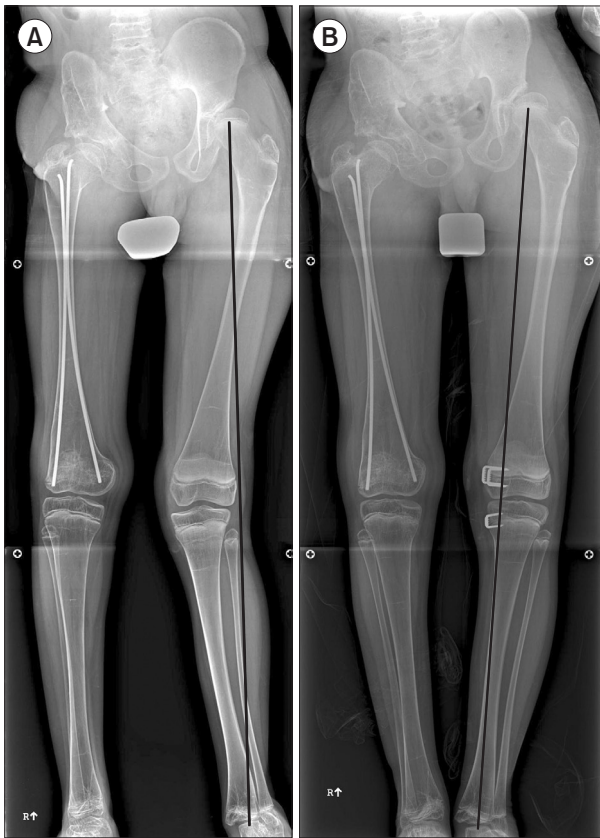


Figure 1. A 15-year-old boy with Ehlers-Danlos syndrome. He developed genu valgum of the left knee (A) which was over corrected using staples in consideration of expected rebound overgrowth (B).

물 실험에서는 스테이플이 삽입된 부위 성장판의 세포 활성이 감소되거나 정지하지는 않는 것으로 보고되었다.¹⁰⁾

스테이플의 장점으로 수술 후 초기에 성장판에 가해지는 압박력의 크기 때문에 성장판 성장 억제효과가 8자 금속판보다 빨리 나타난다는 보고가 있다.¹¹⁾ 스테이플을 이용한 일시적 반골단판 유합술은 각 변형 교정에 있어 약 60%~80%의 성공률을 보이는 것으로 알려져 있다. 여러 보고^{11,12)}에서는 만족스럽지 못한 결과가 있었다고 했는데 Blount와 Clarke¹⁰⁾는 12%에서 스테이플이 골간단부로 이동(migration)하거나 뚫히는(extrusion) 문제로 재수술이 필요하였다고 하였다(Fig. 2). 이러한 합병증을 줄이기 위해 디자인이 개선되었는데, 어깨 부분을 강화한 vitallium 스테이플은 스테이플의 파단을 감소시키고 더 좋은 결과를 가져왔다고 보고되었고,^{13,14)} 다리에 홈을 만든 스테이플은 뚫히는 합병증을 감소시킬 것으로 기대되었다.⁸⁾ 스테이플의 다른 합병증으로는 통증, 관절 부종, 관절 운동 시 자극, 표재 감염, 운동 범위 회복 지연, 과교정 및 교정 부족 등이 보고되어 있다.

스테이플을 삽입 및 제거할 때에는 성장판의 perichondrial ring, 골막 및 골단 혈관이 손상되지 않도록 하는 것이 중요하지만 실제로는 특히 제거 시에 불가피한 의인성 손상이 가해지는 경우가



Figure 2. After temporary hemiepiphysiodesis with a staple, extrusion of the staple from the metaphysis occurred.

생기기도 한다. 스테이플을 제거한 후에는 성장판에서의 성장이 재개되지만 예측이 어려운데, 문헌에 따라 평균 4~5도(범위, 2~15도)의 되돌이 과성장(rebound overgrowth)이 발생할 수 있다고 보고되어 있으며,^{7,15)} 특히 나이가 어린 경우에 흔하게 관찰된다고 하였다. 그래서 12세 미만의 여아나 13세 미만의 남아에서는 어느 정도의 과교정이 추천된다. 8세 이전에는 교정의 결과가 예측 불가능한 경우가 많고 영구적인 성장판 성장 정지가 발생하는 경우 후유증이 크기 때문에 되도록이면 시행하지 않는다. 큰 각 변형을 교정하기 위해 스테이플을 2년 넘게 삽입한 채로 두게 되면 제거 후에 정상적인 성장판 성장이 일어나지 않을 수 있으므로 주의해야 한다.¹⁰⁾

3) 성장판 통과 나사못(percutaneous epiphysiodesis using transphyseal screw)

성장판을 통과하는 나사못을 이용한 골단판 유합술은 1998년 Métaizeau 등¹⁶⁾에 의해 처음 보고된 이후 주로 서유럽 국가들에서 널리 사용되어 왔다. 성장판 통과 나사못(percutaneous epiphysiodesis using transphyseal screw, PETS)은 스테이플과 비교하여 각 교정 속도에서 차이가 없다고 보고된 바 있다(Fig. 3).¹⁷⁾ PETS가 스테이플이나 8자 금속판에 비해 더 우월한 점은 피부 절개가 더 작고, 수술 시간도 더 짧으며, 수술 후 고정이 필요 없어 빨리 일상 생활에 복귀할 수 있다는 점이다. 단점은 나사못이 성장판을 통과하므로 영구적인 성장 정지의 우려가 있을 수 있고, 또한 성장판 억제 효과가 나타나는 것이 지연되고 억제율도 100%가 아니므로 교정이 부족한 경우가 생길 수 있다는 점이다.¹⁸⁾ 나사못의 성장판 성장 억제 효과는 삽입 후 약 6개월 정도 후에 최대에 이르며 이때 대퇴골의 경우 89%, 경골의 경우 95%의 성장 억제 효과가 있다고 한다.¹⁵⁾ 합병증으로 나사못 파단 및 이동, 나사못과

관련한 통증 등이 보고되어 있으며 각 교정이 아닌 길이 교정을 위한 골단판 유합술 시에는 주로 잘못된 술기와 관련한 변형인 경골의 외반 변형¹⁶⁾이 알려져 있다. 나사못이 골과 단단하게 유합된 경우에는 제거하기 어려운 경우도 있다. 나사못 제거 후 되돌이 과성장은 스테이플에 비하여 더 드물게 나타나고 평균 2도 정도로 더 작다고 보고되기도 하나,^{19,20)} 3도 이상의 과성장이 23% (26예 중 6예)에서 발생하여 스테이플에서의 빈도 19% (31예 중 6예)와 큰 차이가 없었다는 보고¹⁴⁾도 있다. 나사못을 삽입할 때 성장판의 반대쪽에서 사선 방향으로 삽입하는 방법과 같은 쪽에서 삽입하는 방법이 소개되어 있으며 같은 쪽에서 삽입하는 것이 더 효과적이지만, 제거 시에는 더 어렵다는 보고도 있다.

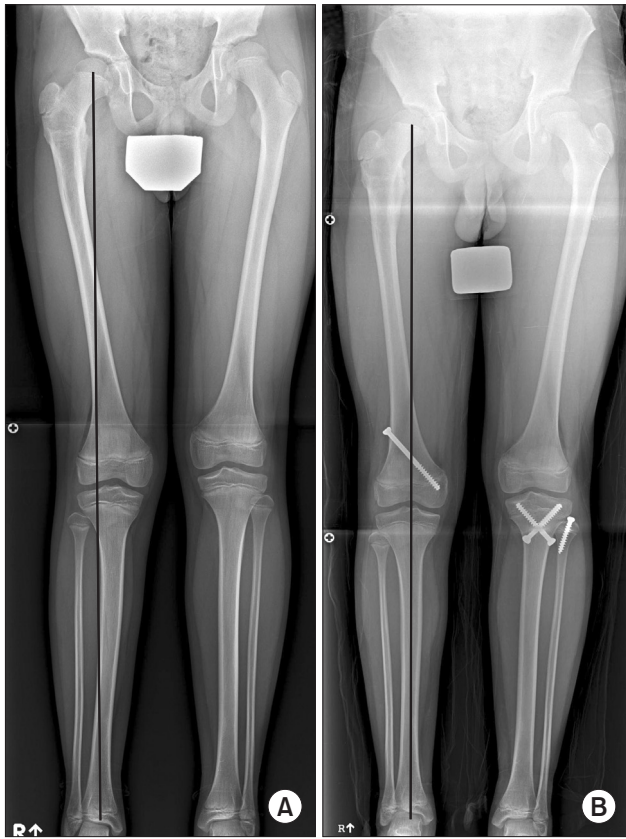


Figure 3. (A) An 11-year-old boy with cerebral palsy showed leg length discrepancy and right side genu valgum. Percutaneous epiphysiodesis using a transphyseal screw was performed for physeal growth suppression. (B) Correction of the leg length discrepancy and angular deformity was observed.

4) 8자 금속판

세 가지 내교정물 중에 가장 최근에 사용되기 시작한 방법으로 2007년 Stevens²¹⁾가 처음 임상 결과를 보고하였다. 상품화되어 있는 8자 금속판(Orthofix, Verona, Italy)은 두 개의 hole을 가진 금속판으로 hole 사이의 길이는 12 mm와 16 mm가 있다. 4.5 mm 굵기의 fully threaded, self-tapping, non-locking 유관 나사(cannulated screw)를 사용하며 나사의 길이는 16 mm, 24 mm 및 32 mm가 있다. 긴 나사를 사용할수록 moment arm이 길어져 이론적으로 압박력이 커지지만, 성장판 중앙을 넘으면 반대편 성장판의 성장도 억제할 수 있어 주의해야 한다. 최근 3.5 mm reconstruction plate를 세 홀 또는 두 홀 길이로 자르고 양 단의 홀에 3.5 mm 피질골 나사(cortical screw)를 삽입하여 Blount 병, 다발성 골연골종증, 다양한 골이형성증 및 외상 후유증으로 초래된 하지 각 변형의 교

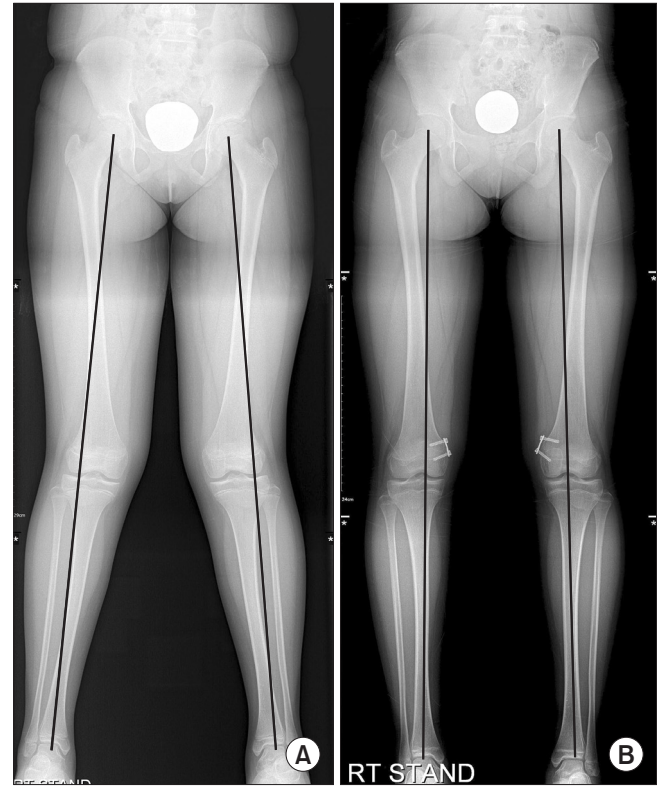


Figure 4. (A) Idiopathic bilateral genu valgum was observed in a 10-year-old girl. A tension band plate was used for asymmetrical physeal growth suppression. (B) Correction of the lower leg angular deformity was observed.

Table 1. Kinds of Tension Band Plate

Variable	Tension band plate			
	8-plate	Peanut plate	PediPlates	Hinge-Plate
Manufacturer	Orthofix	Biomet	OrthoPediatrics	Pega Medical
Plate	Titanium	Titanium	Stainless steel	Stainless steel
Screw	Cannulated	Solid/cannulated	Cannulated	Solid

정에 만족스러운 결과를 얻었다는 보고도 있다(Fig. 4).²²⁾ 8자 금속판 이외에 상용화된 장력대 금속판으로는 Peanut plate (Biomet, Warsaw, IN, USA), PediPlates (OrthoPediatrics, Warsaw, IN, USA), Hinge-Plate (Pega-Medical, Laval, QC, Canada)가 있다(Table 1).

스테이플과 성장판 통과 나사못의 경우에는 성장판의 성장에 따라 내고정물 삽입 부위의 성장판에 직접적인 압박력(compression)이 가해지는 데 비해, 8자 금속판은 장력대(tension band) 원리에 의해 각 변형 교정의 회전 중심(center of rotation) 또는 지렛점(fulcrum)이 성장판 가장자리에 위치하게 된다. 이로 인해 스테이플에 비해 각 교정의 moment arm이 길어서, 적어도 이론적으로는 각 변형 교정에 더 유리하고 주변 정상 성장판의 성장을 덜 억제하는 이점이 있다. Stevens와 Klatt²³⁾는 스테이플에 비해 8자 금속판의 각 교정 속도가 약 30% 빨랐다고 보고하였지만, 이후의 연구들^{7,11)}에서는 두 방법에서 각 교정 속도의 차이가 없었다고 보고하였다. 8자 금속판은 유관 나사와 금속판 사이에서 약 30도까지의 피봇(pivot) 움직임이 있으므로 성장판에 압력 전달이 적어져 성장판 영구 성장 정지의 위험을 줄일 수 있고, 내고정물의 파단 위험이 작은 장점이 있다고 하지만,²³⁾ 실제로는 나사못의 파단, 뽕힘 및 이동이 보고되어 있으며,^{7,24,25)} 특히 Blount 병에서 이러한 위험이 높다고 보고되었다.⁶⁾

8자 금속판을 이용한 일시적 반골단판 유합술의 결과는 대체로 고무적이다. 그러나 대부분의 연구들의 증거 수준(evidence level)이 높지 않고 결과를 평가하는 기준이 다양하며, 수술 전 교란 변수를 잘 제어하지 못한 경우가 많았다. 교정 성공률은 80%~97% 정도이며, 교정 속도는 일년에 5~17도로 다양하게 보고되고 있다. 합병증으로는 되돌이 과성장, 나사못 뽕힘, 내고정물 파단 등이 보고되어 있다. 되돌이 과성장은 미리 예측하기 어려운데, 특히 나이가 어린 경우에는 더 잘 발생하므로 주의해야 한다. 내고정물의 제거는 저자에 따라서 정상 축에 도달했을 때^{22,25)} 또는 약간 과교정이 된 후⁷⁾ 시행할 것을 권장하고 있다. 영구적인 성장 정지 합병증은 아직 보고되지 않았다.

최근 8자 금속판(Orthofix)과 Peanut Plate (Biomet)의 생역학적 강도에 대한 연구에서는, Peanut plate의 금속판 및 나사못이 모두

더 강한 것으로 나타났다.²⁶⁾ 이 연구의 저자들은 유관나사못보다는 피질골 나사못이 더 강하며 장력대 금속판에서의 금속 파단은 골간단부에 삽입된 나사못에서 가장 흔하게 일어나므로 Blount 병 등 비만 환자에서 수술할 때에는 골간단부에 피질골 나사못을 삽입하기를 권하고 있다.

5) 세 방법의 비교

스테이플과 8자 금속판, 그리고 스테이플과 PETS를 비교한 연구들의 대체적인 결과는 각 교정력 및 합병증에 있어서 큰 차이를 보이지 않는다는 것이다. 8자 금속판과 PETS를 비교한 연구는 아직까지 문헌에 발표된 바가 없다.

(1) 회전 중심 또는 지렛점의 위치: 8자 금속판은 성장판의 가장자리(금속판의 바로 내측)에 있고 스테이플은 삽입된 금속팔(prongs)의 끝에 위치하며²²⁾ 나사못은 삽입 위치에 따라 차이가 있지만 보통 스테이플과 8자 금속판의 사이에 위치하게 될 것이다(Fig. 5). 이론적으로는 지렛점이 가장자리에 있을수록 회전 moment arm의 길이가 크므로 각 교정에 더 유리하다고 생각할 수 있다.

(2) 성장판의 의인성 손상 위험: PETS는 불가피하게 의인성 성장판 손상을 초래하지만, 부분 성장판 손상의 크기가 전체 성장판 면적의 10% 이하인 경우에는 성장판의 성장에 영향을 주지 못한다는 보고들^{27,28)}을 고려하면, 6.5~7.0 mm 직경 나사못의 성장판 통과가 성장 장애를 초래할 가능성은, 해부학적으로 성장판의 크기가 작은 나이가 아주 어린 경우가 아닌 한, 크지 않을 것으로 추정할 수 있다. 또한 골간단에서 삽입하므로 perichondrial ring이나 성장판 주위 혈관에 대한 의인성 손상의 위험도 적다. PETS에 의한 영구적인 성장 정지는 아직 문헌에 보고된 바가 없다.

스테이플의 경우에는 삽입할 때 지나치게 깊게 삽입하거나 제거술을 시행하는 과정에서 perichondrial ring과 골막에 의인성 손상이 초래될 수 있으며, 2년 이상 삽입한 채로 두었을 경우 영구적인 성장 정지를 초래할 수 있다고 보고되었다.¹⁰⁾ 스테이플에 의한 영구적인 성장 정지의 위험은 많은 문헌에서 보고되었다.^{8,29,30)}

8자 금속판은 유관 나사못을 삽입할 때만 주의한다면 의인성

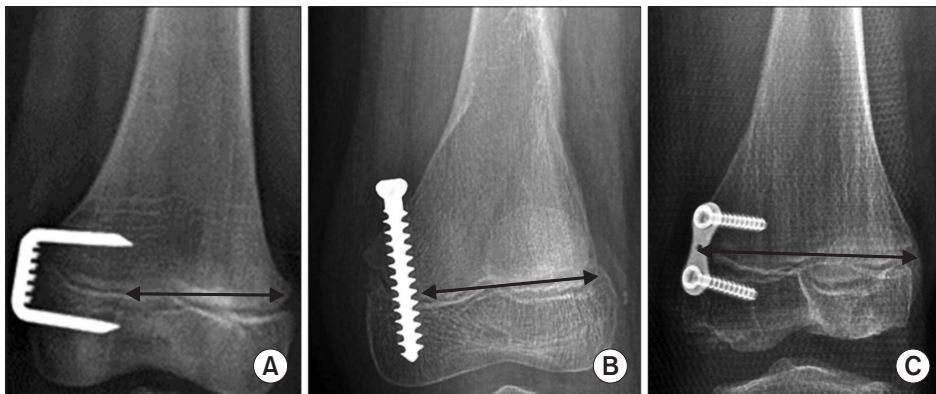


Figure 5. The correction angle moment arm of the staple (A) and percutaneous epiphysodesis using a transphyseal screw (B) is shorter compared to usage of the tension band plate. (C) The fulcrum of the tension band plate is placed at the margin of the growth plate.

성장판 손상의 위험 측면에 있어서는 세 내고정물 중에 가장 안전하다고 생각된다. 또한 8자 금속판에 의한 영구적 성장판 성장 정지는 아직 보고되지 않았다.

(3) 성장 억제 효과: PETS의 경우에는 성장 억제 효과가 지연되며 약 6개월 후 억제 효과가 최대에 이른다고 알려져 있다.¹⁶⁾ 스테이플과 8자 금속판의 경우에도 이러한 지연 효과가 발생하는지에 대해서 아직 연구되어 있지 않다. Stevens와 Klatt²³⁾는 스테이플에 비해 8자 금속판의 각 교정 속도가 약 30% 빨랐다고 하였지만, 이후의 연구들^{7,12)}에서는 두 방법에서 각 교정 속도의 차이가 없었다고 보고하였다. 8자 금속판에서 사용되는 나사못은 금속판에 locking되지 않으므로 삽입 후 초기에는 성장에 따라 나사못이 쉽게 벌어지지만, 스테이플은 삽입 arm이 벌어지는 데 상당히 큰 외력(근위 경골에 삽입한 Blount 스테이플의 경우 약 1 MPa)⁴⁾이 필요하므로 적어도 삽입 초기에 성장판에 가해지는 압박력의 크기는 스테이플이 8자 금속판에 비해 클 것이라고 추정할 수 있을 것이다. 따라서 어떤 저자들은 성장 종료가 임박한 환자에게는 스테이플을 사용할 것을 권장하기도 한다.¹¹⁾

(4) 미용적 측면: 스테이플과 8자 금속판도 피부 절개가 크지는 않지만 성장판 통과 나사못의 피부 절개가 상대적으로 가장 작다.

(5) 수술 후 관리: 성장판 통과 나사못은 관절막을 절개할 필요가 없고, 골간단 부위에서 삽입하므로 수술 후 고정을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 수술 후 통증도 스테이플에 비해 적다.¹⁵⁾ 스테이플과 8자 금속판은 수술 직후부터 체중 부하 및 관절 운동을 권장하는 경우도 있지만,²¹⁾ 근막, 근육 및 관절막을 절개하므로 수술 후 일정 기간 고정이 필요한 경우가 많다.

결론

비대칭 성장판 성장 억제술은 소아 청소년의 사지 각 변형을 교정하는 데 있어서 간편하면서도 강력한 효과를 가진 수술법이다. 최근 들어 8자 금속판이 인기를 얻고 있으나 아직 장기적인 결과 및 합병증에 대한 대규모 전향적 연구가 드문 실정임에 유의해야 한다. 또한 대부분의 기존 연구들의 대상에는 다양한 질환군이 혼재되어 있어 성장 양상을 예측하기 어려운 경우가 많으므로 해석에 유의해야 한다. 지금까지 소개되어 있는 내고정물들은 서로 장단점이 있고 아직까지 교정력이나 합병증에 있어 확실한 우열을 가리기 힘들기 때문에, 환자 개개인의 특성을 잘 평가하여 가장 적절하다고 생각되는 내고정물을 선택해야 한다. 저자들은 남아 12-13세, 여아 11-12세 이상 연령에서는 원위 대퇴골 및 근위 경골에 성장판 통과 나사못을 이용하는 것이 수술 시간, 흉터 및 수술 후 회복 측면에서 유리하고, 10세 이하의 어린 연령에서는 직접적인 성장판 손상을 주지 않으며, 각 교정의 지렛점이 성장판 가장자리에 있는 8자 금속판을 이용하는 것이 더 나을 것으로

생각한다.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors have nothing to disclose.

REFERENCES

1. Villemure I, Stokes IA. Growth plate mechanics and mechanobiology. A survey of present understanding. *J Biomech*. 2009;42:1793-803.
2. Apte SS, Kenwright J. Physeal distraction and cell proliferation in the growth plate. *J Bone Joint Surg Br*. 1994;76:837-43.
3. Stokes IA, Aronsson DD, Dimock AN, Cortright V, Beck S. Endochondral growth in growth plates of three species at two anatomical locations modulated by mechanical compression and tension. *J Orthop Res*. 2006;24:1327-34.
4. Bylski-Austrow DI, Wall EJ, Rupert MP, Roy DR, Crawford AH. Growth plate forces in the adolescent human knee: a radiographic and mechanical study of epiphyseal staples. *J Pediatr Orthop*. 2001;21:817-23.
5. Frost HM. A chondral modeling theory. *Calcif Tissue Int*. 1979;28:181-200.
6. Schroerlucke S, Bertrand S, Clapp J, Bundy J, Gregg FO. Failure of Orthofix eight-plate for the treatment of Blount disease. *J Pediatr Orthop*. 2009;29:57-60.
7. Wiemann JM 4th, Tryon C, Szalay EA. Physeal stapling versus 8-plate hemiepiphysodesis for guided correction of angular deformity about the knee. *J Pediatr Orthop*. 2009;29:481-5.
8. Cho TJ, Choi IH, Chung CY, Yoo WJ, Park MS, Lee DY. Hemiepiphysal stapling for angular deformity correction around the knee joint in children with multiple epiphyseal dysplasia. *J Pediatr Orthop*. 2009;29:52-6.
9. Haas SL. Mechanical retardation of bone growth. *J Bone Joint Surg Am*. 1948;30:506-12.
10. Blount WP, Clarke GR. Control of bone growth by epiphyseal stapling; a preliminary report. *J Bone Joint Surg Am*. 1949;31:464-78.
11. Goyeneche RA, Primomo CE, Lambert N, Miscione H. Correction of bone angular deformities: experimental analysis of staples versus 8-plate. *J Pediatr Orthop*. 2009;29:736-40.
12. Aykut US, Yazici M, Kandemir U, et al. The effect of temporary hemiepiphysal stapling on the growth plate: a radio-

- logic and immunohistochemical study in rabbits. *J Pediatr Orthop*. 2005;25:336-41.
13. Stevens PM, MacWilliams B, Mohr RA. Gait analysis of stapling for genu valgum. *J Pediatr Orthop*. 2004;24:70-4.
 14. Stevens PM, Maguire M, Dales MD, Robins AJ. Physeal stapling for idiopathic genu valgum. *J Pediatr Orthop*. 1999;19:645-9.
 15. Mielke CH, Stevens PM. Hemiepiphyseal stapling for knee deformities in children younger than 10 years: a preliminary report. *J Pediatr Orthop*. 1996;16:423-9.
 16. Métaizeau JP, Wong-Chung J, Bertrand H, Pasquier P. Percutaneous epiphysiodesis using transphyseal screws (PETS). *J Pediatr Orthop*. 1998;18:363-9.
 17. Shin SJ, Cho TJ, Park MS, et al. Angular deformity correction by asymmetrical physeal suppression in growing children: stapling versus percutaneous transphyseal screw. *J Pediatr Orthop*. 2010;30:588-93.
 18. Ilharreborde B, Gaumetou E, Souchet P, et al. Efficacy and late complications of percutaneous epiphysiodesis with transphyseal screws. *J Bone Joint Surg Br*. 2012;94:270-5.
 19. De Brauwier V, Moens P. Temporary hemiepiphysiodesis for idiopathic genua valga in adolescents: percutaneous transphyseal screws (PETS) versus stapling. *J Pediatr Orthop*. 2008;28:549-54.
 20. Khoury JG, Tavares JO, McConnell S, Zeiders G, Sanders JO. Results of screw epiphysiodesis for the treatment of limb length discrepancy and angular deformity. *J Pediatr Orthop*. 2007;27:623-8.
 21. Stevens PM. Guided growth for angular correction: a preliminary series using a tension band plate. *J Pediatr Orthop*. 2007;27:253-9.
 22. Lee HJ, Oh CW, Song KS, Kyung HS, Min WK, Park BC. Guided growth with a noncannulated screw-plate system for angular deformity of the knee: a preliminary report. *J Pediatr Orthop B*. 2012;21:339-47.
 23. Stevens PM, Klatt JB. Guided growth for pathological physes: radiographic improvement during realignment. *J Pediatr Orthop*. 2008;28:632-9.
 24. Ballal MS, Bruce CE, Nayagam S. Correcting genu varum and genu valgum in children by guided growth: temporary hemiepiphysiodesis using tension band plates. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92:273-6.
 25. Burghardt RD, Herzenberg JE, Standard SC, Paley D. Temporary hemiepiphyseal arrest using a screw and plate device to treat knee and ankle deformities in children: a preliminary report. *J Child Orthop*. 2008;2:187-97.
 26. Stitgen A, Garrels K, Kobayashi H, Vanderby R, McCarthy JJ, Noonan KJ. Biomechanical comparison between 2 guided-growth constructs. *J Pediatr Orthop*. 2012;32:206-9.
 27. Ogden JA. The evaluation and treatment of partial physeal arrest. *J Bone Joint Surg Am*. 1987;69:1297-302.
 28. Peterson HA. Partial growth plate arrest and its treatment. *J Pediatr Orthop*. 1984;4:246-58.
 29. Brockway A, Craig WA, Cockreli BR Jr. End-result study of sixty-two stapling operations. *J Bone Joint Surg Am*. 1954;36:1063-70.
 30. Frantz CH. Epiphyseal stapling: a comprehensive review. *Clin Orthop Relat Res*. 1971;77:149-57.

성장기 소아 환자의 흔한 정형외과적 문제

비대칭 성장판 성장 억제를 이용한
사지 각 변형의 교정장우영 • 최윤성* • 유원준[✉]

서울대학교 어린이병원 소아정형외과, *서울대학교병원 정형외과

성장이 남아있는 소아 청소년에서 사지의 각 변형은 정형외과 영역에서 드물지 않게 만나는 문제이다. 각 변형을 교정하는 수술적 방법 중, 비대칭 성장판 성장 억제술 또는 성장 조절법은 성장 중인 골에 지속적인 외력을 가하여 소성 변형을 유도하는 방법이다. 비대칭 성장판 성장 억제술의 원리를 이용한 수술법에 사용되는 내고정물로는 스테이플, 성장판 통과 나사못 및 8자 금속판으로 대표되는 긴장대 금속판이 있다. 스테이플을 이용한 일시적 반골단판 유합술은 각 변형 교정에 있어 약 60%–80%의 성공률을 보이는 것으로 알려져 있다. 성장판을 통과하는 나사못을 이용한 골단판 유합술은 스테이플이나 8자 금속판에 비해 더 우월한 점은 피부 절개가 더 작고, 수술 시간도 더 짧으며, 수술 후 고정이 필요 없이 빨리 일상 생활에 복귀할 수 있다는 점이다. 8자 금속판은 스테이플이나 성장판을 통과하는 나사못에 비해 각 교정의 moment arm이 길어서 각 변형 교정에 더 유리하고 주변 정상 성장판의 성장을 덜 억제하는 이점이 있다. 비대칭 성장판 성장 억제술은 소아 청소년의 사지 각 변형을 교정하는 데 있어서 간편하면서도 강력한 효과를 가진 수술법이다. 세 가지 종류의 내고정물들은 서로 장단점이 있고 아직까지 교정력이나 합병증에 있어 확실한 우열을 가리기 힘들기 때문에 환자 개개인의 특성을 잘 평가하여 가장 적절하다고 생각되는 내고정물을 선택하여야 한다.

색인단어: 하지, 비대칭 성장판 성장 억제, 스테이플, 성장판 통과 나사못, 긴장대 금속판

접수일 2015년 4월 30일 수정일 2015년 9월 18일 게재확정일 2016년 2월 3일

[✉]책임저자 유원준

03080, 서울시 종로구 대학로 101, 서울대학교 어린이병원 소아정형외과

TEL 02-2072-1966, FAX 02-745-3367, E-mail yoowj@snu.ac.kr