

# 소아에서의 성장 예측: 골종양의 치료와 관련된 소아 하지 부동

Growth Expectation in Children: Leg Length Discrepancy Related with Bone Tumor in Children

정성택 • 정광철 • 박형원  
전남대학교 의과대학 정형외과학교실

악성 골종양의 치료의 주된 목적은 장기 생존기간을 연장 및 삶의 질적 개선이나, 소아의 경우 골격 성장이 지속되어 종양 치료 후 성장 완료 시 나타나는 하지 부동(leg length discrepancy)이 치료에 있어 중요한 문제 중 하나이다. 성장기 소아의 하지 부동을 치료하기 위해서는 먼저 소아의 정상적인 성장에 대한 정확한 이해가 필요하며, 성장 과정에서의 하지 부동의 정도를 예측하는 것은 이에 대한 수술적 치료의 시기 및 방법의 선택에 있어 필수적이다. 또한 이러한 성장 예측 방법들을 적절히 사용하기 위해서는 지속적인 추시 관찰이 필수적이므로 환자의 부모와의 긴밀한 협조 또한 중요한 것으로 생각된다.

**색인단어:** 골종양, 하지 부동, 성장 예측

## 서 론

최근 진단 기술, 수술 술기 및 항암화학 요법의 발달로 악성 골종양의 치료 성적은 많은 발전을 이루었다. 이로 인해 근골격계 악성종양 환자의 장기 생존이 늘어나면서, 치료 후 삶의 질적 개선에도 많은 관심이 모아지고 있다. 그 중 소아의 경우 골격 성장이 지속되어 종양 치료 후 성장 완료 시 나타나는 변형 및 하지 부동은 자주 접하는 문제 중 하나이다. 골 연부 조직 종양, 특히 골육종과 같은 악성 골 종양의 경우 대부분 성장판과 근접하여 발생함으로써 광범위 절제 및 종양 대체물을 이용한 재건술 시 성장판의 절제가 불가피하여 결과적으로 하지 부동이 발생하는 경우가 많다. 이러한 하지 부동은 이차적으로 보행의 문제,<sup>1)</sup> 고관절 및 슬관절의 동통 및 관절염,<sup>2,3)</sup> 요통<sup>4)</sup> 등을 유발할 수 있다. 이러한 복합적인 문제를 유발할 수 있는 성장기 소아의 하지 부동을 치료하기 위해서는 먼저 소아의 정상적인 성장에 대한 정확한 이해가 필요하며, 성장 과정에서의 하지 부동의 정도를 예측하는 것은 부동에 대한 치료의 시기, 수술 방법의 선택에 있어 필수적이라고 하겠다.

## 정상 성장 과정

소아의 정상적인 성장에 대한 이해는 하지 부동의 치료에 있어 필수적인 과정이다. 소아의 성장은 이미 태생 이전에 시작이 되며, 연령에 따른 성장의 양상은 그 특징에 따라 태아기, 5세 이전, 5세 이후, 사춘기로 나누어 볼 수 있다 (Table 1). 태아기의 성장은 첫 6개월간에 길이 성장이 주로 일어나게 되어 이 시기에 출생 시 신장의 70%에 해당하는 신장을 보이며, 체중 증가는 마지막 3개월간 가장 활발히 일어나게 된다. 태생 이후의 성장은 그 시기에 따라 하지의 성장과 앉은 키의 성장의 비율에 차이를 보이며 태생 후 5세까지는 이 두 성장이 같은 비율로 성장하나 5세 이후 사춘기까지 전체 성장의 2/3가 하지의 성장이 차지하고 사춘기가 되면서 반대로 앉은 키의 성장이 전체 성장의 2/3를 차지하게 된다. 출생 후 5세까지는 성장이 활발한 시기로 이 시기에 최종 신장의 62%에 도달하며, 첫 1년간은 전 성장 과정 중 성장 속도가 가장 빠른 시기로서 약 22 cm의 성장을 이루게 된다.<sup>5)</sup> 5세 이후에서 사춘기까지는 성장의 속도가 둔화되는 시기이며 1년에 약 5.5 cm의 신장의 증가를 보인다.<sup>5)</sup> 사춘기 전후에는 소아의 성장에 있어 가장 중요한 시기 중 하나로 사춘기의 시작은 마지막 성장이 활발히 일어나는 시기가 시작됨을 의미하므로 사춘기의 시작을 인지하는 것은 성장의 예측에 있어 중요하다고 할 수 있다. 사춘기의 시작을 알리는 징후로서는 음모(pubic hair)가 나타나고, 유두의 발아(budding)가 시작되며, 고환이 커지기 시작한다. 남아의 경우 고환

접수일 2011년 2월 22일 심사수정일 2011년 4월 30일 게재확정일 2011년 5월 30일  
교신저자 정성택  
광주시 동구 학동 8, 전남대학교병원 정형외과  
TEL 062-227-1640, FAX 062-225-7794  
E-mail stjung@chonnam.ac.kr

대한골관절종양학회지 : 제17권 제1호 2011 Copyrights © 2011 by The Korean Bone and Joint Tumor Society

"This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited."

Table 1. Characteristics of Growth Pattern

Period	Characteristics
Intrauterine period	First 6 months: rapid length increase, reach 70% of expected birth length Next 3 months: rapid weight gain
Birth-5 years	Most rapid growth rate, especially first year of life: double the birth height, 62% of the final height Sitting height and leg length increase at the same rate
5 years-onset of puberty	Marked deceleration in growth: standing height increase at approximately 5.5 cm/year Leg length account for 2/3 of total gain in height
Puberty	Acceleration of growth velocity Increase of standing height: 20.5 cm (girls), 22.5 cm (boys) Sitting height account for 2/3 of total gain in height

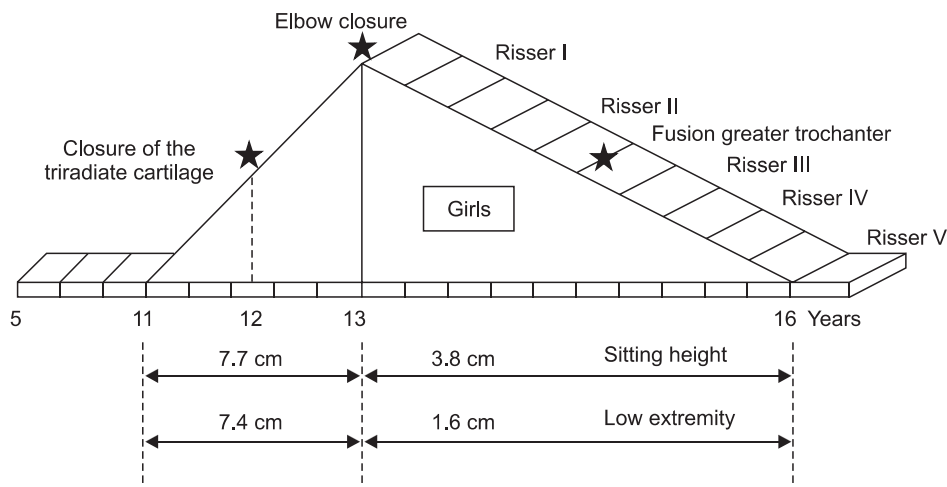


Figure 1. This graph showing pubertal growth in girls.

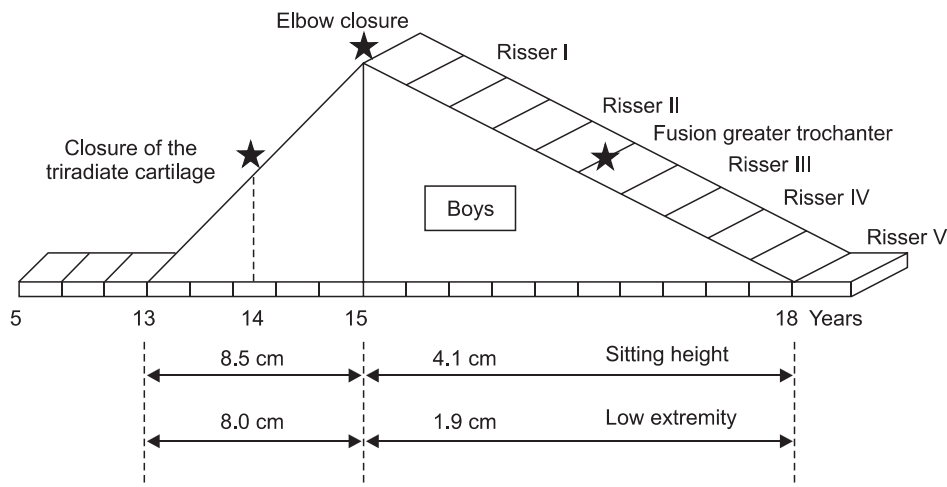


Figure 2. This graph showing pubertal growth in boys.

의 성장이 약 77%에서 첫 신체적 징후로 나타나며 이는 최고 성장 속도(peak height velocity, PHV)가 일어나기 평균 1.7년 전, 성장 완료 평균 3.5년 전임을 의미한다.<sup>6,7)</sup> 여아에서는 약 93%에서 유두의 발아가 첫 신체적 징후로 나타나며 1년 후 최고 성장 속도가 일어나게 된다.<sup>6,7)</sup> 또한 여아의 경우 초경(menarche)이 유두 발아 약

2년 후에 시작되며, 초경 후 2.5-3년간 약 3-5 cm의 잔여 성장을 하게 된다.

사춘기 동안 남아의 경우 22.5 cm (앉은 키 12.5 cm, 하지 길이 10 cm), 여아의 경우 약 20.5 cm (앉은 키 11.5 cm, 하지 길이 9 cm)의 성장이 기대된다.<sup>6,7)</sup> 그 중 성장이 가장 활발한 시기는 사춘

기 시작 후 첫 2년으로 여아의 경우 골 연령 11-13세, 남아의 경우 13-15세이며(상승기, ascending phase) 이 기간 동안 여아의 경우 약 15.1 cm, 남아의 경우 약 16.5 cm의 성장을 하게 된다.<sup>9)</sup> 이 상승기가 지나고 나면 성장의 속도는 급격히 감소하여(하강기, descending phase) 나머지 잔여 성장은 약 5.5-6 cm이 기대된다(Fig. 1, 2). 이러한 사춘기 동안 쉽게 관찰할 수 있는 방사선학적 지표로서 먼저 비구의 삼각 연골은 상승기의 중간 단계에서 닫히게 되며,<sup>9)</sup> 상승기와 하강기의 경계 지점에서 주두의 성장판이 닫히게 된다. 또한 주두 성장판이 닫힌 후 하강기에 들면서 초경이 시작되며, 이 시기에 장골능에 Risser 제1단계 징후를 보이게 된다(Fig. 1, 2).<sup>8)</sup>

## 방사선학적 성장 평가

소아 환자에서 역 연령(chronologic age)은 임상적으로 그 중요성이 많이 떨어지며, 성장을 예측하기 위해서는 골 연령을 이용하는 것이 좋다. 이러한 골 연령의 측정에 사용되는 방법에는 다음과 같은 방법들이 있다.

### 1. Greulich and Pyle atlas

1959년 Greulich와 Pyle에 의해 소개된 방법으로 환자의 손목 및 수부 사진을 성별에 따라 만들어진 표준과 비교함으로써 골 연령을 평가하는 방법이다.<sup>9)</sup> 그러나 사춘기의 성장 과정 중 상승기와 같이 성장이 매우 활발한 시기에 수부에는 변화가 거의 없어 이

시기 동안의 정확한 골 연령의 측정에 한계점이 있다.

### 2. Sauvegrain 방법

1962년 Sauvegrain에 소개된 이 방법은 주관절부 전후면 및 측면 방사선 사진을 이용하여 성장판의 닫힌 정도를 점수로 환산하여 합한 후 그래프에서 해당하는 골 연령을 찾는 방법이다.<sup>10)</sup> 주관절부의 성장판 폐쇄가 대부분 사춘기의 첫 2년간, 성장이 가장 활발한 시기에 일어난다는 사실에 근거를 두고 있어 특히 이 시기의 골 연령의 평가에 유용한 방법이다(Fig. 3). 사춘기의 시작인 여아 골 연령 11세, 남아 골 연령 13세에는 주두에 2개의 골화 중심이 나타나며, 6개월 후 이 두 개의 골화 중심이 합하여져 반달 모양을, 다음 6개월 후 직사각형 모양을 형성하게 된다. 이 골화 중심은 다음 6개월부터 서서히 유합되기 시작하여 여아 골 연령 13세, 남아 골 연령 15세가 될 때까지 6개월에 걸쳐 완전한 유합을 이루게 된다(Fig. 4).<sup>8)</sup>

### 3. Risser sign

1958년 Risser가 처음 발표한 방법으로 골반골 사진으로 장골능(ilial crest)의 이차 골화 중심의 형성 정도로 골 연령을 판단함으로써, 추가적인 방사선 촬영을 피할 수 있는 이유로 주로 척추 측만증의 치료에 많이 이용되고 있다.<sup>11)</sup> 골반능의 골단을 4부분으로 나누며, 골화는 골반능의 골단의 외측에서 시작해서 내측으로 진행하게 된다. Risser 0은 골화가 시작되지 않은 단계이며, Risser 4는 4부분 모두에 골화가 진행된 단계이며, Risser 5는 Risser 4에서

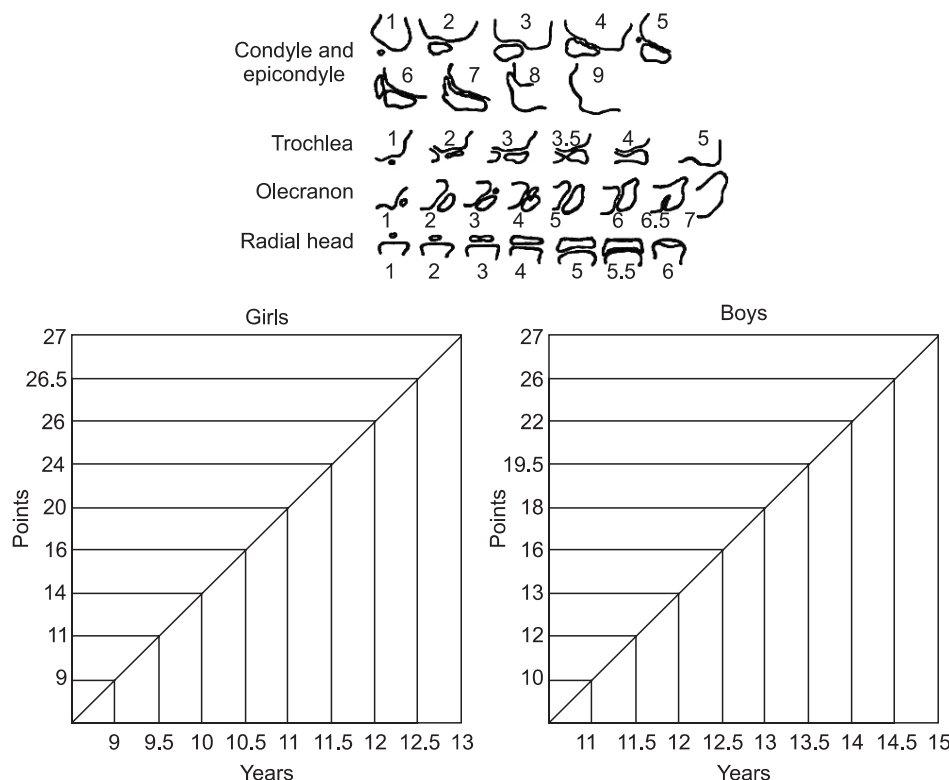


Figure 3. This showing the Sauvegrain method of assessing skeletal age.

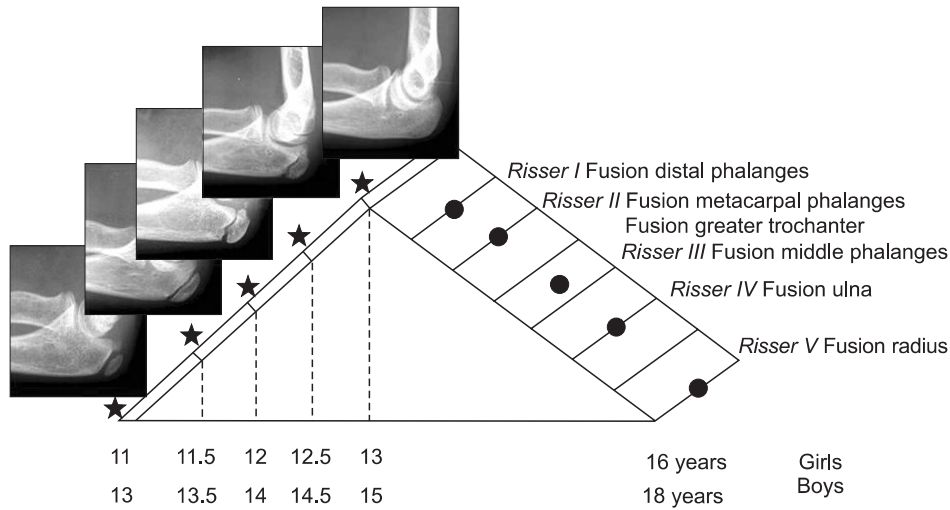


Figure 4. This showing the stages of closure of the olecranon in relation to the pubertal growth and the Risser sign.

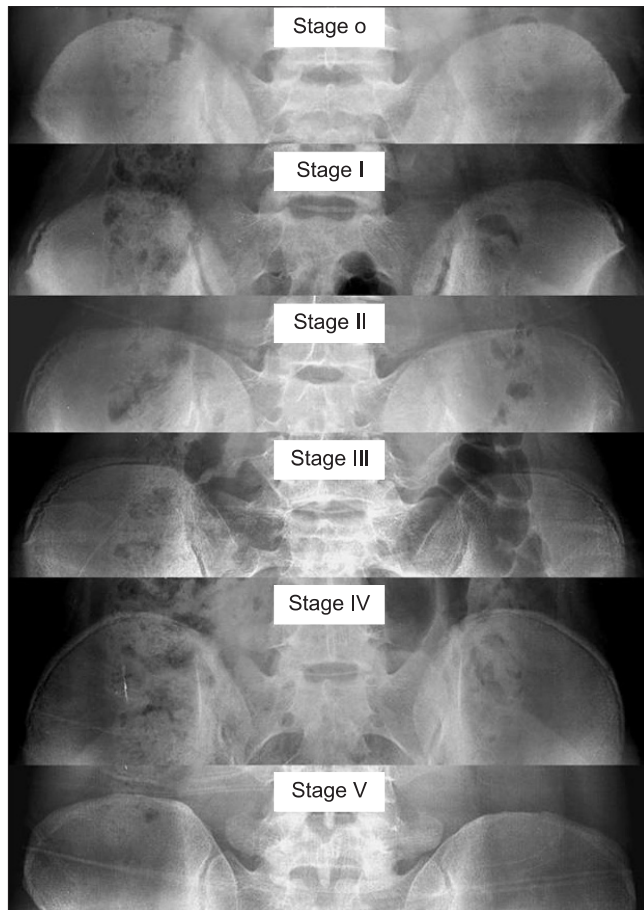


Figure 5. These radiographs showing each stage of Risser Sign.

더 진행하여 골반능과 완벽하게 융합된 단계이다(Fig. 5). Risser 0 단계는 최고 성장 속도에 아직 이르지 않았음을 의미하며, Risser 1단계는 사춘기 성장이 최고 성장 속도 단계를 지나 하강기에 접어들었음을 의미하며 이 시기에 수지골 원위 지골의 성장판의 폐쇄가 일어난다. Risser 2단계는 여아 골 연령 14세, 남아 골 연령 16

Table 2. Length of Femur and Tibia

		Femur	Tibia
At birth		9 cm	7 cm
At growth maturation	Girls	47 cm	37 cm
	Boys	44 cm	34 cm

세에 해당하며 이 시기에 대퇴골 대전자부의 성장판의 폐쇄가 시작되고 더 이상의 하지의 성장은 나타나지 않는다. Risser 3단계 동안 수지골 중위 지골의 성장판의 폐쇄가 나타나며, Risser 4단계에는 원위 척골의 성장판의 폐쇄가 나타나게 되고 마지막으로 Risser 5단계를 거치면서 원위 요골의 성장판 폐쇄를 관찰할 수 있다(Fig. 4).

## 하지의 성장

하지의 성장에서 대퇴골과 경골은 전 성장 과정을 통하여 일정한 비율로 성장하게 된다. 경골은 대퇴골 길이의 약 80%에 해당하며, 출생 시 대퇴골의 길이는 약 9 cm이며, 성장 완료 시 여아의 경우 약 44 cm, 남아의 경우 47 cm 내외이다. 출생 시 경골의 길이는 약 7 cm이며, 성장 완료 시 여아의 경우 약 34 cm, 남아의 경우 약 37 cm 내외이다(Table 2).<sup>12)</sup>

국내에서는 2003년 Ha 등<sup>13)</sup>이 남아의 경우 경골의 길이가 대퇴골의 길이의 약 78%, 여아의 경우 79%라 보고하였으며, 성장 완료 시 대퇴골의 길이는 여아의 경우 약 42 cm, 남아의 경우 약 45.5 cm, 경골의 길이는 여아의 경우 약 33.5 cm, 남아의 경우 약 35.5 cm로 외국의 경우와 큰 차이를 보이지 않았다. 각 골에서 근위부 및 원위부의 성장판이 전체 골 성장에서 차지하는 비율이 달라 대퇴골의 경우 근위 대퇴골의 성장판이 전체 대퇴골 성장의 약 30%를, 원위 대퇴골의 성장판이 약 70%를 차지하며, 경골의 경우 근위 경골의 성장판이 전체 경골 성장의 약 60%, 원위 경골의 성장

판이 약 40%를 차지하여 슬관절 주위의 성장판, 즉 원위 대퇴골 및 근위 경골의 성장판은 전체 하지 성장의 약 2/3 (65%)를 차지한다(Fig. 6).<sup>14,15)</sup> 이처럼 슬관절 주위의 성장판은 하지 전체 성장의 많은 부분을 차지함으로써 소아의 성장 동안 이 부위 성장판의 손상은 추후 심각한 하지 단축을 초래할 수 있다. 또한 각 골의 근위

부 및 원위부가 전체 골의 성장에 차지하는 비율을 아는 것은 각각의 골에 대한 성장 예측 및 하지 부동의 정도를 예측하는데 있어 매우 중요하다.

## 하지 부동의 예측

성장 예측에 흔히 사용되는 방법에는 Arithmetic 방법, Growth remaining 방법, Straight line graph 방법, Multiplier 방법 등이 있다.

### 1. Arithmetic 방법

이 방법은 Menelaus와 Westh<sup>16,17)</sup>에 의해 소개된 방법으로 주로 하지 부동의 치료를 위한 골단판 유합술의 시기를 결정하기 위해 고안되었으며, 몇 가지 전제 조건을 바탕으로 하고 있다. 첫째, 여아는 역 연령 14세, 남아는 16세에 성장이 멈춘다. 둘째, 근위 대퇴골의 성장판은 1년에 4 mm씩, 원위 대퇴골의 성장판은 1년에 10 mm씩, 근위 경골의 성장판은 1년에 6 mm씩, 원위 경골의 성장판은 1년에 5 mm씩 성장한다. 그러나, 이러한 전제 조건은 성장이 끝나가는 소아에서는 비교적 정확하나 좀 더 어린 소아에서는 부정확하며, 역 연령을 이용한다는 점에서도 문제가 있다.

### 2. Growth remaining 방법

이 방법은 Anderson 등이 1964년 발표하였던 대퇴골과 경골의 길이에 대한 그래프를 이용하는 방법이다.<sup>12)</sup> 각각 남아와 여아의 대

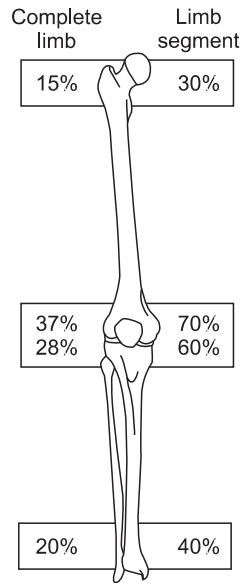


Figure 6. This showing contributions of the various growth plates to the length of the lower limb and its individual bones.

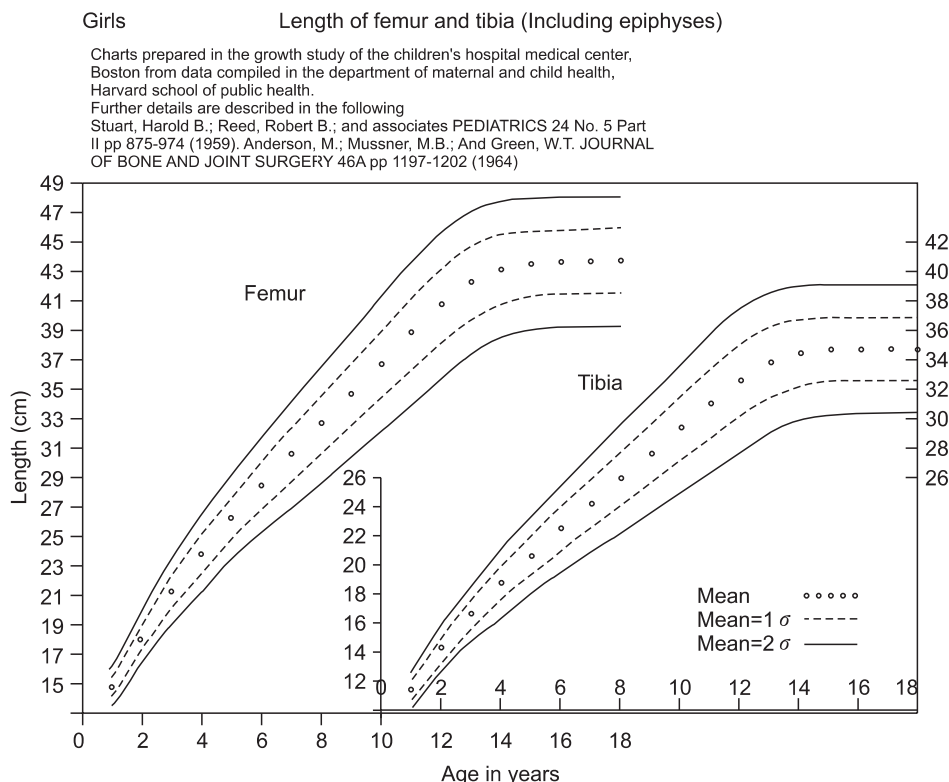


Figure 7. This showing an average total length of the femur and tibia with a 1 and 2 standard deviation range in girls based on chronologic age provided by Green and Anderson.



퇴골과 경골의 평균,  $\pm 1SD$ ,  $\pm 2SD$  값을 역 연령에 따라 성장 완료 시까지 그래프로 표시하였다(Fig. 7). 이 그래프를 이용할 경우 각각의 골에 대한 잔여 성장의 정도를 예상할 수 있으며 하지 부동의 정도를 예측할 수 있다.

먼저 해당 성별의 그래프에서 현재 역 연령과 골의 길이를 점으로 표시하게 되면 해당하는 백분위수(percentile)를 알 수 있으며, 이 백분위수에서의 성장 완료시의 골의 길이를 알 수 있으며, 이 차이를 이용하여 잔여 성장의 정도를 예측할 수 있다. 또한 이를 이용하여 성장판 손상으로 인한 성장 정지가 있는 경우 추후 하지 부동의 정도를 추정할 수 있다.

Case 1. 7년 6개월 여아로 우측 근위 대퇴골에 발생한 골육종에 대해 광범위 절제술 및 종양 대치물(tumor prosthesis)을 이용한 재건술을 시행받았으며, 당시 정상 측 대퇴골의 길이는 33.5 cm였다(Fig. 8).



Figure 8. Plain radiograph showing osteosarcoma on right proximal femur and reconstruction with tumor prosthesis of 7.6 years old patient.

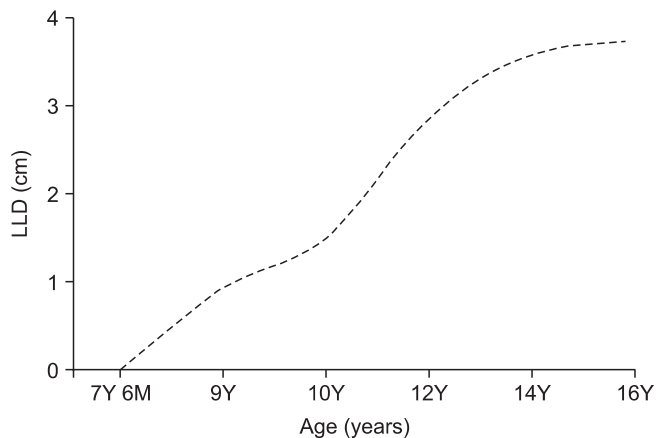


Figure 9. This showing the progression of leg length discrepancy in same patient.

이 환아에서 추후 성장 과정중의 하지 부동의 정도를 예측해 보면,

- 역 연령 7년 6개월, 대퇴골 길이 33.5 cm을 그래프에 표시하면 약 75 백분위수에 해당.
- 해당 백분위수의 성장 완료 시의 대퇴골의 길이는 46 cm.
- 정상 측 대퇴골의 향후 예상되는 잔여 성장은  $46 - 33.5 = 12.5$  cm.
- 근위 대퇴골의 성장판이 전체 대퇴골의 성장에 차지하는 비율은 약 30%.
- 실제 성장 장애를 일으킬 것으로 예상되는 길이, 즉 예상 하지 부동의 정도는 향후 잔여 성장의 30%, 즉  $12.5 \text{ cm} \times 30\% = 3.75 \text{ cm}$ .

이와 같은 방법으로 성장 완료 전에도 예상 하지 부동의 정도를 계산할 수 있으며, 이를 이용하여 하나의 그래프를 완성할 수 있으며, 이 그래프를 이용할 경우 향후 하지 부동에 대한 치료의 필요 여부 및 수술 시기 등을 결정하는데 도움을 받을 수 있을 것으로 생각된다(Fig. 9).

### 3. Straight line graph 방법

Moseley<sup>[8,19]</sup>에 의해 소개된 방법으로, Anderson 등<sup>[2]</sup>이 발표하였던 정상 대퇴골 및 경골의 길이 값을 이용하여 만들어진 그래프이다. 골 연령을 이용하여 잔여 성장 및 하지 부동의 정도를 예측할 수 있으며, 또한 골단판 유합술의 시기를 결정할 수 있는 비교적 정확한 방법이다(Fig. 10).

### 4. Multiplier 방법

2000년 Paley 등<sup>[20]</sup>은 Anderson 등<sup>[2]</sup>이 발표하였던 정상 대퇴골 및

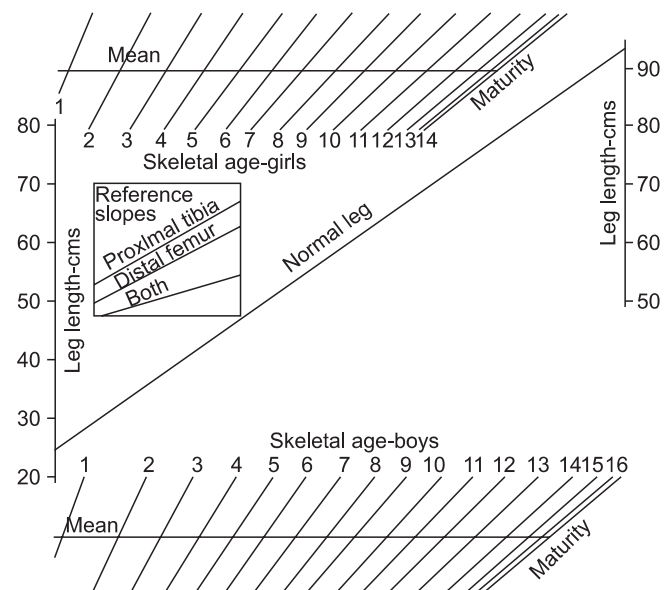


Figure 10. This drawing showing the Moseley straight-line graph.

경골의 길이 값을 기초로 하여 남녀 성별, 연령에 따른 Multiplier 값을 발표하였다(Table 3).

이 방법은 현재의 하지 길이에 해당 성별 및 연령의 Multiplier 값을 곱하여 간단하게 성장 완료 시의 하지의 길이를 예상하는 방법으로 이를 이용하여 하지 부동이 있는 환자에서 최종 성장 완료 시의 하지 부동의 정도를 예측할 수 있다. Paley 등이 소개한 방법은 다음과 같다.

#### 1) 선천성 하지 부동에서의 Multiplier 방법

- 성장 완료 시의 하지 길이( $L_m$ )=multiplier(M)×현재의 하지 길이(L)
- 성장 완료 시의 하지 부동의 정도( $\Delta_m$ )=multiplier(M)×현재의 하지 부동의 정도( $\Delta$ )

#### 2) 발달성 하지 부동에서의 Multiplier 방법

이는 다발성 내연골종증(Ollier's disease), 성장판 손상, 악성 골 종양의 수술적 치료 등에 의해 발생하는 하지 부동의 정도를 예측할 수 있는 방법으로,

- 성장 완료 시의 하지 부동의 정도( $\Delta_m$ )=현재의 하지 부동의 정도( $\Delta$ )+잔여 성장 기간 동안 발생할 하지 부동의 정도( $\Delta_g$ )

Table 3. Lower-limb Multipliers

Age (yrs*+mos†)	Multiplier		Age (yrs+mos)	Multiplier	
	Boys	Girls		Boys	Girls
Birth	5.080	4.630	7+6	1.520	1.370
0+3	4.550	4.155	8+0	1.470	1.330
0+6	4.050	3.725	8+6	1.420	1.290
0+9	3.600	3.300	9+0	1.380	1.260
1+0	3.240	2.970	9+6	1.340	1.220
1+3	2.975	2.750	10+0	1.310	1.190
1+6	2.825	2.600	10+6	1.280	1.160
1+9	2.700	2.490	11+0	1.240	1.130
2+0	2.590	2.390	11+6	1.220	1.100
2+3	2.480	2.295	12+0	1.180	1.070
2+6	2.385	2.200	12+6	1.160	1.050
2+9	2.300	2.125	13+0	1.130	1.030
3+0	2.230	2.050	13+6	1.100	1.010
3+6	2.110	1.925	14+0	1.080	1.000
4+0	2.000	1.830	14+6	1.060	
4+6	1.890	1.740	15+0	1.040	
5+0	1.820	1.660	15+6	1.020	
5+6	1.740	1.580	16+0	1.010	
6+0	1.670	1.510	16+6	1.010	
6+6	1.620	1.460	17+0	1.000	
7+0	1.570	1.430			

\*yrs, years; †mos, months.

- 잔여 성장 기간 동안 발생할 하지 부동의 정도( $\Delta_g$ ) 예상 잔여 성장(G)에 Inhibition(I) 값을 곱하여 구할 수 있다( $\Delta_g=I \times G$ ).

- Inhibition값을 구하기 위해서는 성장 정지가 발생한 이후 최소 6개월, 보통 1년 이상의 간격을 두고 측정한 2개의 하지 길이 값이 필요하며,

$Inhibition(I)=1-\frac{\text{짧은 하지의 성장 정도}(S-S')}{\text{정상 하지의 성장 정도}(L-L')}$

- 잔여 성장의 정도(G)=성장 완료 시의 하지 길이( $L_m$ )-현재의 하지 길이(L)

$L_m$  대신에 ML을 대입하면  $G=L(M-1)$

Case 2. 6세 여아로, 2년 전 우측 대퇴골 원위부 성장판 손상으로 인해 발생한 하지 부동을 주소로 내원하였다. 정상 측 대퇴골의 길이는 28 cm, 환측 대퇴골 길이는 26 cm로 현재 2 cm의 하지 부동 보이고 있다. 1년 전 정상측 대퇴골의 길이는 26 cm, 환측의 대퇴골 길이는 25 cm였다. 6세 여아의 Multiplier 값은 1.510이다.

본 환자에서 성장 완료 시의 예상 하지 부동의 정도를 구해보면 다음과 같다.

- 먼저 Inhibition(I) 값을 구해보면  $I=1-(1/2)=0.5$
- 정상 측 대퇴골의 예상 잔여 성장(G)을 구해보면  $G=(28 \text{ cm} \times 1.51)-28 \text{ cm} \approx 14.3 \text{ cm}$
- 잔여 성장 기간 동안 발생할 하지 부동의 정도( $\Delta_g$ )= $I \times G=0.5 \times 14.3 \approx 7.2 \text{ cm}$
- 성장 완료 시의 최종 하지 부동의 정도  
현재의 하지 부동의 정도 2 cm+잔여 기간 동안에 발생할 하지 부동의 정도 7.2 cm≈약 9.2 cm

이 방법은 보통 1년 이상의 간격을 두고 촬영한 2개의 방사선 사진이 필요하므로 정확한 하지 부동의 정도를 예측하는데 시간이 많이 필요한 단점이 있다. 하지만 악성 골 종양에 대해 광범위 절제 및 종양 대치물(tumor prosthesis) 또는 동종골을 이용한 재건술을 시행 할 경우와 같이 확실히 성장 정지를 예측할 수 있는 경우에 있어서는 다음과 같은 방법으로 간단히 성장 완료시의 하지 부동의 정도를 예측할 수 있다.

Case 3. 8세 남아로 원위 대퇴골에 발생한 골육종에 대해 광범위 절제 및 동종골을 이용한 재건술을 시행하였다(Fig. 11). 당시 반대측의 정상 대퇴골의 길이는 35 cm이었으며, 8세 남아의 Multiplier 값은 1.470이다. 수술 시 양측 하지의 길이의 차이가 없게 하였다.

본 환자에서 성장 완료 시의 예상 하지 부동의 정도를 구해보면 다음과 같다.

- 먼저 정상 측 대퇴골의 잔여 성장을 계산한다.

$G=L_m-L=(35 \text{ cm} \times 1.470)-35=16.45 \text{ cm}$

수술을 시행받은 대퇴골은 원위 대퇴골의 성장판에서 성장을 하지 못하므로 이 부위가 전체 대퇴골의 성장에 차지하는 비율인



Figure 11. Plain radiographs showing osteosarcoma on left distal femur, reconstruction with allograft, and about 7 cm LLD after 4 years follow up.

70% 정도의 성장 정지가 발생할 것으로 예상할 수 있으므로  $16.45 \times 0.7 \approx 11.5$  cm의 하지 부동을 예상할 수 있다.

이와 비슷한 방법으로 원위 대퇴골의 골육종에 대해 종양 대치물을 이용한 재건술을 시행받은 경우에는 원위 대퇴골 및 근위 경골에서 성장 정지가 예상되므로 각각 대퇴골 및 경골에서의 예상 하지 부동을 계산하여 합하면 전체적인 하지의 부동의 정도를 예측할 수 있다.

### 3) Multiplier 방법을 이용한 골단판 유합술(epiphysiodesis)의 시기 결정

- 먼저 위의 방법으로 성장 완료 시의 하지 부동의 정도, 즉 교정이 필요한 정도( $\varepsilon$ )를 구한다.
- 만약 대퇴골 원위부 성장판의 유합술을 시행할 경우 필요한 교정 정도( $\varepsilon$ )=골단판 유합술 시행 시 예상 잔여 성장( $G\varepsilon$ )  $\times 0.7$ ,  $G\varepsilon = \varepsilon / 0.7$ . 즉, 예상되는 잔여 성장,  $G\varepsilon$  값이 되는 시기가 곧 골단판 유합술 시기임.
- 골단판 유합술 시행할 대퇴골의 성장 완료 시의 길이( $L_m$ )는 위에서 설명한 방법으로 구할 수 있으며,  $L_m - G\varepsilon$ =골단판 유합술 시행 시의 대퇴골의 길이( $L\varepsilon$ )
- 이 골단판 유합술 시행 시의 대퇴골의 길이( $L\varepsilon$ )를 이용하여 최종 수술 시행 시기를 구하게 된다. 즉,  $L\varepsilon \times$  골단판 유합술 시의 Multiplier 값( $M\varepsilon$ )=성장 완료시의 길이( $L_m$ )  
 $M\varepsilon = L_m / L\varepsilon$  값을 구하여 이 값에 해당되는 시기를 Multiplier 테이블에서 찾으면 됨. 이를 이용하여 Case 2)에서 골단판 유합술 시기를 찾아보면 다음과 같다.
- 예상되는 최종 하지 부동의 정도, 즉 필요한 교정 정도( $\varepsilon$ )는 9 cm
- 골단판 유합술 시행 시 예상 잔여 성장( $G\varepsilon$ )= $9 / 0.7 \approx 13$  cm이 된다.
- 유합술을 시행해야 할 정상 측 대퇴골의 현재 길이는 28 cm

성장 완료 시의 예상 길이( $L_m$ )는  $28 \text{ cm} \times 1.510 \approx 42.3 \text{ cm}$

· 골단판 유합술 시행 시의 대퇴골의 길이( $L\varepsilon$ )에 당시의 예상 잔여 성장( $G\varepsilon$ )을 더한 값이 42.3이 되어야 하므로,  $L\varepsilon = 42.3 - 13 = 29.3 \text{ cm}$

·  $L\varepsilon \times$  골단판 유합술 시의 Multiplier 값( $M\varepsilon$ )=성장 완료 시의 길이( $L_m$ )

$M\varepsilon = 42.3 / 29.3 = 1.44$

· 여아에서 6년 6개월의 Multiplier 값은 1.460이고 7세의 Multiplier 값은 1.430이므로 이 사이의 기간이 골단판 유합술 시행 시기가 된다.

## 종양 대치물을 이용한 재건술 후 성장판 정지 손상

골육종은 소아에서 가장 흔한 악성 종양으로 주로 슬관절 주위에 발생한다. 이러한 골육종에 대한 치료로서 광범위 절제 및 종양 대치물을 이용한 재건술을 시행하였을 경우 원발 병소가 있던 부위의 성장판은 광범위 절제술 시 원발 병소와 함께 절제되기 때문에 성장 장애가 필연적으로 초래될 것이며, 침범되지 않은 주위의 관절면에도 인공삽입물의 스템이 정상 성장판을 관통하므로 성장 정지에 대한 가능성이 있을 것으로 예상되므로 추후 발생하게 될 하지 부동의 정도를 예측하는데 걸림돌이 된다. 몇몇 저자들에 의해 실제 이러한 인공삽입물의 스템에 의한 성장 장애를 보고하였으나,<sup>21,22)</sup> 2004년 Neel 등<sup>23)</sup>은 9-12 mm의 작은 직경의 Smooth, Press-fit 스템을 성장판의 중앙을 통과하게 하여 골단부의 골을 최대한 적게 제거함으로써 성장판 손상을 최소화함으로써 성장 장애를 일으키지 않았다고 보고하였다. 또한 비슷한 연구 결과로 몇몇 저자들은 동물 실험을 통하여 성장판의 중앙을 관통하는 작은 직경의 부드러운 재료의 핀이나 금속정은 성장 장애를 일으키



지 않는다고 보고하였다.<sup>24,25)</sup> 이러한 연구 결과를 볼 때 원발 병소가 없는 주위 관절면에 대한 인공 삽입물의 고정 시 가능한 작은 직경의, 부드러운 스템을 사용하여 최대한 성장판 손상을 줄이면서 성장판의 중앙에 삽입함으로써 성장 장애를 막을 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 인공 삽입물의 안정성과 장기적인 기능을 위해서는 항상 가능한 선택은 아니기 때문에 종양 치료 의사들에게는 어려움이 있다.

## 요 약

성장기의 소아에서 발생하는 하지 부동은 성장이 남아 있는 동안에는 계속하여 진행되는 동적인(dynamic) 문제이며, 적절한 치료 시기와 치료 방법을 선택함으로써 여러 가지 이차적인 문제의 발생을 막을 수 있을 것으로 생각된다. 이러한 하지 부동의 치료를 위해서는 먼저 성장이 활발하여 임상적으로 가장 많은 문제를 일으킬 수 있는 사춘기를 포함하여, 정상적인 소아의 성장에 대한 이해가 필요할 것으로 생각된다. 또한 추후 발생하고 진행하게 될 하지 부동의 정도를 예측하기 위해서는 현재 환자의 성장 상태를 자세히 파악하고, 여러 가지 성장 예측 방법들의 장단점을 잘 이해하고 이용해야 한다. 또한 이러한 성장 예측 방법들을 적절히 사용하기 위해서는 지속적인 외래 추시가 필수적이므로 환자의 부모와의 긴밀한 협조 또한 중요할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- Liu XC, Fabry G, Molenaers G, Lammens J, Moens P. Kinematic and kinetic asymmetry in patients with leg-length discrepancy. *J Pediatr Orthop*. 1998;18:187-189.
- Gofton JP, Trueman GE. Studies in osteoarthritis of the hip. II. Osteoarthritis of the hip and leg-length disparity. *Can Med Assoc J*. 1971;104:791-799.
- Kujala UM, Friberg O, Aalto T, Kvist M, Osterman K. Lower limb asymmetry and patellofemoral joint incongruence in the etiology of knee exertion injuries in athletes. *Int J Sports Med*. 1987;8:214-220.
- Giles LG, Taylor JR. The effect of postural scoliosis on lumbar apophyseal joints. *Scand J Rheumatol*. 1984;13:209-220.
- Dimeglio A. Growth in pediatric orthopaedics. *J Pediatr Orthop*. 2001;21:549-555.
- Tanner JM, Davies PS. Clinical longitudinal standards for height and height velocity for North American children. *J Pediatr Orthop*. 1985;107:317-329.
- Tanner JM, Whitehouse RH. Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty. *Arch Dis Child*. 1976;51:170-179.
- Moseley RT, Weinstein SL, Lovell and Winter's Pediatric Orthopaedics. 6th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins; 2006.
- Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. 2nd ed. Stanford: Stanford University Press; 1959.
- Sauvegrain J, Nahum H, Bronstein H. Study of bone maturation of the elbow. *Ann Radiol (Paris)*. 1962;5:542-550.
- Risser JC. The Iliac apophysis; an invaluable sign in the management of scoliosis. *Clin Orthop Relat Res*. 1958;11:111-119.
- Anderson M, Messner MB, Green WT. Distribution of lengths of the normal femur and tibia in children from one to eighteen years of age. *J Bone Joint Surg Am*. 1964;46:1197-1202.
- Ha JH, Choi IH, Chung CY, et al. Distribution of lengths of the normal femur and tibia in Korean children from three to sixteen years of age. *J Korean Med Sci*. 2003;18:715-721.
- Anderson M, Green WT, Messner MB. Growth and predictions of growth in the lower extremities. *J Bone Joint Surg Am*. 1963;45:1-14.
- Tupman GS. A study of bone growth in normal children and its relationship to skeletal maturation. *J Bone Joint Surg Br*. 1962;44:42-67.
- Menelaus MB. Correction of leg length discrepancy by epiphysal arrest. *J Bone Joint Surg Br*. 1966;48:336-339.
- Westh RN, Menelaus MB. A simple calculation for the timing of epiphysal arrest: a further report. *J Bone Joint Surg Br*. 1981;63:117-119.
- Moseley CF. A straight-line graph for leg-length discrepancies. *J Bone Joint Surg Am*. 1977;59:174-179.
- Moseley CF. A straight line graph for leg length discrepancies. *Clin Orthop Relat Res*. 1978;136:33-40.
- Paley D, Bhav A, Herzenberg JE, Bowen JR. Multiplier method for predicting limb-length discrepancy. *J Bone Joint Surg Am*. 2000;82:1432-1446.
- Cool WP, Carter SR, Grimer RJ, Tillman RM, Walker PS. Growth after extendible endoprosthetic replacement of the distal femur. *J Bone Joint Surg Br*. 1997;79:938-942.
- Dominkus M, Krepler P, Schwameis E, Windhager R, Kotz R. Growth prediction in extendable tumor prostheses in children. *Clin Orthop Relat Res*. 2001;390:212-220.
- Neel MD, Heck R, Britton L, Daw N, Rao BN. Use of a smooth press-fit stem preserves physeal growth after tumor resection. *Clin Orthop Relat Res*. 2004;426:125-128.

24. Key JA, Ford LT. A study of experimental trauma to the distal femoral epiphysis in rabbits. II. J Bone Joint Surg Am. 1958;40:887-896.
25. Siffert RS. The effect of staples and longitudinal wires on epiphyseal growth; an experimental study. J Bone Joint Surg Am. 1956;38:1077-1088.

## Growth Expectation in Children: Leg Length Discrepancy Related with Bone Tumor in Children

Sung Taek Jung, M.D., Ph.D., Kwang Cheul Jeong, M.D., Ph.D., and Hyeong Won Park, M.D.  
*Department of Orthopedic Surgery, Chonnam National University College of Medicine, Gwangju, Korea*

The main goals of treatment of malignant bone tumor are the prolongation of life survival and the improvement of quality of life. In growing children, however, leg length discrepancy (LLD) is one of major problem in the treatment of malignant bone tumors. Therefore, the precise understanding of growth in children is essential, and the prediction of LLD is critical in deciding the time and options of surgery. In addition, to use the adequate method of growth expectation, periodic follow-up and collaboration with patient's parents are needed.

**Key words:** bone tumor, leg length discrepancy, growth expectation

**Received** February 22, 2011 **Revised** April 30, 2011 **Accepted** May 30, 2011

**Correspondence to:** Sung Taek Jung, M.D., Ph.D.

Department of Orthopedic Surgery, Chonnam National University Hospital, 8, Hak-dong, Dong-gu, Gwangju 501-757, Korea

**TEL:** +82-62-227-1640 **FAX:** +82-62-225-7794 **E-mail:** stjung@chonnam.ac.kr