

한국 소아에서 보행발달 과정의 삼차원 동작분석 특성

연세대학교 보건과학대학 재활학과 및 ¹보건과학연구소
의과대학 재활의학과 및 재활의학연구소
²경북 안동시 와룡면 보건지소

조상현¹ · 박창일 · 박은숙 · 김유철 · 신지철 · 박진석²

= Abstract =

Characteristics of the 3D Gait Analysis in Gait Maturation Process in Korean Children

Sang-Hyun Cho M.D.¹, Chang-Il Park M.D., Eun-Sook Park M.D., Yu-Chul Kim M.D.,
Ji-Cheol Shin M.D. and Jin-Seok Park M.D.²

Department of Rehabilitation Therapy, Yonsei University College of Health Science
¹*Yonsei University Institute of Health Science*
Department of Rehabilitation Medicine, Yonsei University College of Medicine
Yonsei University Research Institute of Rehabilitation Medicine
²*Waryong-myon Health Center, Andong-si, Kyongsangbuk-do*

Objective: To find out the characteristics of gait maturation process in Korean normal children.

Method: Three dimensional kinematic gait analysis using Vicon 370 system from Oxford Metrics Company was performed for 72 children (33 females) without known gait anomalies aging between one and six years old. The data were compared with those from 41 normal adults which were collected previously using the same method, and with those from study by Sutherland et. al.

Results:

1. The initial heel contact, initial flexion wave of the knee joint during the early stance phase and reciprocal arm swing were found before the age of 3.5.
2. Pelvic motion in transverse plane, hip joint motion in all the three planes, knee joint motion in coronal plane, and ankle joint motion in transverse plane remained greater than those of Caucasian children of Sutherland et. al.
3. Single stance period remained shorter than that of Caucasian children.
4. Internal rotation of hip joint and varus motion of the knee joint remained greater than those of Caucasian children.

Conclusion: The difference between Korean and Caucasian children were

1. Development of muscles' ability which stabilize the large leg joints during gait seems slower among Korean children than Caucasian children.
2. These differences are probably from the anthropometrical characteristics of Korean and Caucasian growing children. Also, the different definition of angle systems between the Korean and Caucasian data might cause some erroneous effect on the interpretation of result.

Key Words: Gait maturation, Korean children, Kinematics, Gait analysis

서 론

1872년 Muybridge가 달리는 경주마의 모습을 연속적으로 촬영한 것을 시초로 1948년 Levens등, 1953년 Saunders, 1955년 Steindler, 1967년 Murray가 정상성인의 보행특성에 대한 기초적인 보고를 하였고, 그 이후로도 Inman, Sutherland, Perry, Gage등에 의하여 삼차원 보행분석 및 그의 임상적 적용에 대한 다양한 연구가 이루어져 왔다.^{4,8)} 이러한 일련의 과정을 통하여 보행분석은 신경 및 근골격계 장애로 인한 보행이상성이 있는 환자에서 진단 및 치료과정에 중요한 평가방법으로 자리를 잡아 왔다. 이는 보행분석이 비정상 보행의 원인을 분석하고, 질병진행에 따른 보행양상의 변화과정을 알 수 있으며, 다양한 치료의 계획설정을 돕고, 치료의 효과를 정확하게 평가할 수 있게 해주기 때문이었다.^{1,2,7,11)}

소아환자를 대상으로 실시한 동작분석 연구의 예로 Winter등은 보행 분석을 이용하여 뇌성마비 중 경직성 편마비를 4가지로 구분하였으며, Gage등은 뇌성마비 아동을 위한 적합한 치료의 방법과 종류를 결정하는데 보행분석을 사용하였다.^{8,22)} 또한 Cahhan등은 뇌성마비 환자에서 수술 전후에 보행분석을 시행하여 수술에 의한 보행의 호전정도를 비교적 정확하고 객관적으로 알 수 있었다.⁶⁾ 그러나 비정상 아동에서 보행분석의 정확도와 신빙성을 향상시키기 위해서는 이들의 대조군이 되는 정상 아동의 독특한 보행양상과 성장에 따른 보행양상의 변화과정을 알아야 할 필요가 있었다.

우선, 아동에서 독립적으로 보행할 수 있는 시기가 언제인가는 비교적 쉽게 관찰이 되어서 생후 9개월~17개월, 평균 12.5개월에 독립보행을 시작하는 것으로 알려졌다.⁵⁾ 그리고 아동보행이 성인의 보행과 어떻게 다른가에 대한 연구는 1931년 Shirley, 1940년 Popova와 Gesell 및 McGraw, 1963년 Ogg, 1968년 Scrutton과 Robson, 1969년 Scrutton등에 의해 주로 육안 관찰과 간단한 연속 사진촬영을 통해 이루어졌다.^{4,9,13)} 그러나 아동의 보행특성이 사라지고 성인의 보행특성이 정착되는 시기가 언제인가에 대하여는 육안관찰 방법으로는 한계가 있어서 최근까지 본격적인 연구가 어려웠다.

이에 대한 최근 기법을 이용한 것으로는 1971년

Statham등이 스트로보와 연속촬영기법으로 11~16개월 사이의 아동 7명을 대상으로 독립보행 개시 전후의 변화를 시상면에서 관찰하여 보고한 것이 있었고, 같은 해 Burnett과 Johnson은 28명의 아동이 혼자 걷기 시작할 때부터 4주간격으로 6~21회 반복된 고속 사진촬영을 통해 시상면과 관상면에서 관찰한 결과를 발표하였다.^{4,13)} 특히 Burnett과 Johnson의 논문에서는 초기접지를 뒤꿈치로 하는 것이 평균 18.5개월에, 슬관절이 허중반응시기에 잠시 굽혔다 펴지는 동작이 평균 19.5개월에, 입각기 발의 위치가 골반의 좌우쪽 안에 들어오는 것이 평균 17.0개월에, 그리고 두팔을 번갈아 흔드는 동작이 평균 18.0개월에 이뤄지며, 이들 변수를 통해 보행양상이 성인처럼 되었는가를 가늠할 수 있다고 하였다.

독립보행을 시작한 이후 약 5세까지의 삼차원 운동형상학적 특성의 변화에 대한 연구는 그리 많지 않았는데, Sutherland등은 1972년에 그들이 발표한 Vanguard Motion Analyser와 삼차원 관절각도 측정기법을 토대로 시행한 1980년의 논문에서 1~6세의 아동 186명(여자 88명)을 대상으로 분석한 결과 이들의 운동형상학적 특성이 전반적으로 3~4세에 성인처럼 된다고 하였다.^{14,15)} 그외에 아동의 보행발달 특성에 대하여 알려진 사항들은 시간 및 거리 보행인자의 변화가 주로 아동의 키 성장에 의해 주로 결정되고 성장이 계속되는 동안 지속적으로 변화한다는 것과, 5세 이후에는 삼차원 운동형상학적 및 운동역학적 동작분석 특성이 성인의 것과 크게 다르지 않은 것이다.^{3,10,15)}

이와 같이 아동의 보행발달 양상을 삼차원 동작 분석을 통해 체계적으로 알아본 과거 연구가 아직 많지 않고, 대상자는 모두 미국의 백인 아동이었다. 또한 국내에서도 수년 전부터 삼차원 동작분석시스템이 도입된 이래로 비정상 보행의 연구 및 여러가지 치료방법의 평가를 위해 이용되고 있으나, 아직 다양한 연령의 한국 정상아동에 대한 삼차원 보행 분석 연구나 여기에 관련된 변수들의 표준치를 제시하는 연구는 보고된 바 없었다. 이에 저자들은 삼차원 동작분석시스템을 이용하여 1세부터 6세까지 한국인 정상 소아들의 보행발달 과정에 대한 자료를 구하여 과거 연구자들의 결과와 비교하여 보고, 앞으로 비정상 아동의 보행분석 자료를 해석할 때 참고자료로 삼고자 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법

1) 연구 대상

연세의료원과 연세재활병원 직원들에게 공문과 면담을 통해 본 연구의 취지를 설명하고, 그 중 연구에 동의한 직원들이 그들의 자녀를 연세재활병원 동작분석실에 데려와 분석검사에 응하였다. 검사에 참여할 수 있는 아동의 조건은 조산 혹은 난산의 과거력이 없이 정상적으로 출생하였고, 근골격계의 외상 및 질병의 과거력이 없으며, 정상 발달을 하여 생후 14개월 이전에 독립적으로 보행을 할 수 있어야 했다. 또한 재활의학과 의사 두명이 따로 시행한 이학적 검사와 신경학적 검사에서 이상 소견을 보이지 않아야 했다. 최종적으로 연구자료에 포함된 아동들은 1세부터 6세까지의 총 72명이었으며, 이들과 비교대상이 된 성인군의 데이터는 연세재활병원 동작분석실에서 기존에 수집한 정상 성인 41명의 보행분석 데이터에서 얻은 것이었다.

2) 연구 방법

(1) 대상자의 신체계측: 대상자의 키와 몸무게를 측정하였으며, 다리길이와 경골 회전도(tibial torsion) 및 대퇴골 경부의 전염각(anteversion of femur neck)을 측정하였다. 다리길이(actual leg length)는 대전자부(greater trochanter)로부터 발뒤꿈치까지의 거리를 centimeter 단위로 측정하였으며, 대퇴골 경부의 전염각은 엎드린 자세에서 슬관절을 90도 굴곡하고 대퇴부를 외회전 시키면서 대전자부가 중립위에서부터 가장 두드러지게 만져질 때까지 외회전한 각도를 측정하였다.¹²⁾ 경골 회전도는 엎드린 자세에서 내측 복사(medial malleoli)와 외측 복사(lateral malleoli)를 잇는 선과 대퇴골의 내외측 과(medial and lateral condyle)를 연결한 선이 이루는 각도를 측정하였다.¹²⁾

(2) 보행검사: 연세의대 재활병원 동작분석실에 설치된 Oxford Metrics회사의 Vicon 370시스템(Oxford, England)을 이용하였다. 이것의 기본 작동원리는 6대의 적외선 스트로보에서 나오는 적외선이 골반과 양쪽 다리의 일정부위에 부착된 13개의 표지들에서 반사되는 것을 각 스트로보에 달린 적외선 카메라가 포착하고, 이에 연결된 컴퓨터가 각 표지점의 3차원 좌표를 계속 산출하면서 추적하는 방식이었다.

검사대상자의 신체 일정부위에 표지를 부착하는 작업은 항상 한명의 숙련된 검사자가 시행하여 오차의 소지를 줄이도록 하였고, 보행분석 검사는 대상 아동이 맨발인 상태에서 스스로 편안한 속도로 8 m의 보도(walkway)를 3회 이상 걸으면서 시행하였다. 그리고 여기에서 얻어진 보행분석 데이터 중에 그 아동의 실제 보행 특징에 가장 가까운 것을 두명의 검사자가 함께 선택하여 그 아동의 대표 데이터로 정하였다.

(3) 분석 항목: 시간 및 거리 보행인자로서 분속수(cadence), 보행속도(speed), 보행장(step length), 단하지 지지기 시간(single support time)을 아동의 각 연령군에서 그리고 성인 대조군에서 구하였다. 이때 각 연령군에서의 분석항목에 대한 대표값은 산술평균과 표준편차로 하였다. 또한 성인 보행양상의 큰 특징에 속하는 두팔을 번갈아 흔드는 동작(reciprocal arm swing)과 처음에 뒤꿈치로 착지하는 것(initial heel contact)이 각 아동군에서 나타나는 빈도는 두명의 검사자가 비디오 테이프 관찰을 통하여 확인하였다.

그밖에 주요 관절의 각도가 하나의 보행주기동안 시상면, 관상면 및 횡단면에서 변화하는 양상을 알 수 있는 10가지 운동형상학적 분석(kinematic analysis) 그래프를 그것의 디지털 데이터와 함께 아동의 각 연령군과 성인군에서 얻었다. 다른 연령군간의 그래프를 통계적 기법으로 비교하는데 유용한 분석항목은 Sutherland등의 연구에서 사용된 것들을 참조하여 각 관절에 적합한 것으로 선택하였으며, 하나의 연령군에서 각 분석항목의 대표값은 산술평균과 표준편차로 하였다. 그래프의 분석항목중에 특히 평균관절각(average of motion)은 하나의 보행주기 동안 해당 관절운동이 보인 모든 각도값의 산술평균으로, 그 관절이 특정 관찰면에서 전반적으로 어느 쪽으로 치우쳐 있는지를 가늠해 보기에 유용한 항목이었다. 그리고 동적 운동범위(dynamic range of motion)는 하나의 보행주기동안 해당 관절이 보인 운동의 최대값과 최소값의 차이로서, 수동적 관절운동범위와는 달리 실제 보행 중에 그 관절이 얼마나 많이 움직이는가를 알 수 있는 항목이었다.¹⁷⁾

대개의 아동들이 다리길이와 걸음길이가 짧아서 힘판(force plate)에 한 걸음 이상 발이 닿으므로 운동역학적 분석(kinetic analysis)을 시행할 수 없거나 측정이 부정확하였으므로, 이들 자료는 본 연구에

포함시키지 않았다.

(4) 통계분석: 과거의 연구들에서 일정 보행특성이 관찰 대상아동에서 나타나는지의 여부를 판단할 때 연구자가 사진 관찰이나 파형분석을 통해 주관적으로 판정하는 경우가 대부분이었으므로 본 연구에서는 이들보다 판정의 객관성을 높이기 위하여 관절의 각도값들을 통계처리하여 판정하고자 했다.^{4,20)}

아동의 각 연령군마다 특정 분석항목이 성인수준에 도달했는지 여부를 판단하기 위하여 1971년 Statham의 연구에서와 같이 성인군의 데이터를 대조군으로 하고, 각 연령군의 것을 비교군으로 하여 Student's t-test를 시행하였다.¹³⁾ 비교하고자 하는 각 항목들은 산술평균, 표준편차 및 자료의 수를 먼저 구하였으며, 이들을 Microsoft Excel spreadsheet에 입력하여 T 검정을 시행하였다. 특히 Vicon 370시스템에서는 동작분석시 양측의 다리에서 각각 데이터가

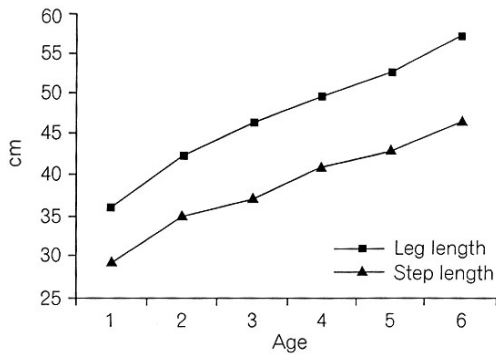


Fig. 1. Leg length change vs. step length change.

얻어지기 때문에 각 연령군의 자료의 수는 인원수의 두배가 되었다.

대부분의 항목에서 연령의 증가에 따라 평균값들이 일정한 증가 혹은 감소의 추세를 보일 것으로 예측되어 T 검정시 편측검정을 하였다. 그 결과 p-value가 0.05와 같거나 크면 95% 신뢰구간에서 두 집단의 자료가 통계적으로 다르다고 볼 수 없으므로 그 아동 연령군에서 해당 항목이 정상성인과 대체로 동일할 것으로 해석하였다.

결 과

1) 대상자들의 분포 및 신체적 특성(Table 1, Fig. 1)

대상 아동 중 남아가 39명, 여아가 33명이었고 연령 분포는 6세군이 5명으로 가장 적었으며, 3세군이 22명으로 가장 많았다. 1세군의 월령(month age)은 평균 21개월로 사실상 1.5세가 넘는 상태였다. 신장과 다리길이의 성장은 1세부터 6세까지 서서히 증가하는 경향을 보였으며, 특히 1세와 2세 사이에 가장 큰 증가를 보였다.

2) 비디오 관찰(Table 1)

걸을 때 두팔을 번갈아 흔드는 동작은 1세와 2세 군에서 85~87%만 보이다가 3세부터는 모든 아동에서 관찰되었다. 초기접지(initial contact)를 뒤꿈치로 하는 것은 1세군의 75%에서 나타났으며 2~4세군에서는 95~100% 나타나다가, 5세 이후에는 모든 아동에서 관찰되었다.

Table 1. Demographic Features and Video Observations

| Age group (months) | No. of cases | | | Height(cm) mean±s.d. | Actual leg length(cm) mean±s.d. | Video observation | |
|--------------------|--------------|---------------|--------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------|
| | Male (n=39) | Female (n=33) | Total (n=72) | | | Arm swing present(%) | Heel contact present(%) |
| 1(12~23) | 4 | 4 | 8 | 82.4±2.8 | 36 ±1.2 | 7(87.5) | 6(75.0) |
| 2(24~35) | 5 | 2 | 7 | 93.1±5.6 | 42.3±3.7 | 6(85.7) | 7(100.0) |
| 3(36~47) | 13 | 9 | 22 | 100.2±3.7 | 46.5±2.1 | 22(100.0) | 21(95.5) |
| 4(48~59) | 12 | 8 | 20 | 104.7±3.1 | 49.8±2.3 | 20(100.0) | 19(95.0) |
| 5(60~71) | 4 | 6 | 10 | 109.8±3.8 | 52.9±2.6 | 10(100.0) | 10(100.0) |
| 6(72~83) | 1 | 4 | 5 | 116.8±3.6 | 57.4±2.8 | 5(100.0) | 5(100.0) |
| Adult | | | | 164.8±8.6 | 83±5.1 | | |

3) 시간 및 거리 보행인자(Table 2)

보행장(step length)은 다리길이의 증가처럼 비교적 일관된 증가를 보였으나, 3세에 약간 그 증가속도가 둔화되었다(Fig. 1) 분속수는 1세와 2세 사이에 가장 급격하게 감소하고 이후로는 완만하게 감소하나, 7세가 되어도 성인보다 증가되어 있는 상태이었다(Fig. 2). 또한 보행속도 및 단하지 지지기 시간은 1세에서 6세까지 전반적으로 증가하였으나, 성인수준에 도달하지는 못했다.

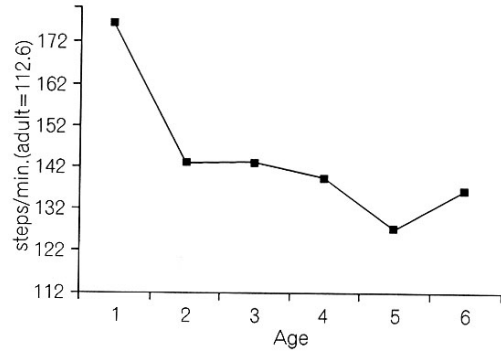


Fig. 2. Cadence change.

4) 운동형상학적 분석

(1) 골반(Table 3, Fig. 3): 시상면에서 골반 전방경사(anterior tilt)의 평균관절각은 1세때 성인의 2배

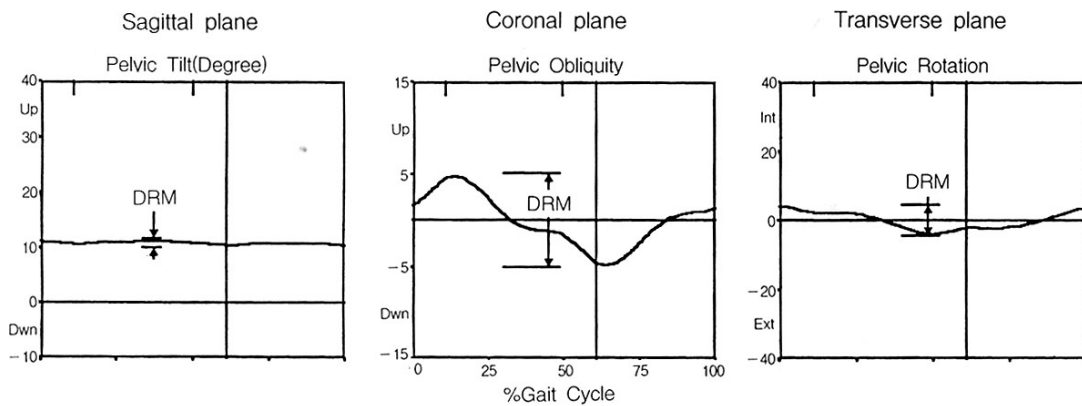


Fig. 3. Pelvic motion.

DRM: dynamic range of motion, X-axis: % gait cycle, Y-axis: degrees, Vertical split line: toe-off moment, Horizontal split line: neutral angle

Table 2. Temporal and Distance Parameters

| Age group(m) ¹⁾ | Cadence(steps/min.) | | Step length(cm) | | Speed(m/sec) | | Single support(%) | |
|----------------------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------|--------------|------------------|-------------------|------------------|
| | mean±s.d. | p ^{*2)} | mean±s.d. | p ^{*2)} | mean±s.d. | p ^{*2)} | mean±s.d. | p ^{*2)} |
| 1(16) | 176.2±29.3 | 0.00 | 29±5 | 0.00 | 0.86±0.24 | 0.00 | 33.1±3.1 | 0.00 |
| 2(14) | 142.8±11.8 | 0.00 | 35±5 | 0.00 | 0.83±0.12 | 0.00 | 33.9±2.2 | 0.00 |
| 3(44) | 143.3±10.2 | 0.00 | 37±5 | 0.00 | 0.89±0.13 | 0.00 | 33.7±2.1 | 0.00 |
| 4(40) | 139.6±13.7 | 0.00 | 41±5 | 0.00 | 0.97±0.17 | 0.00 | 34.6±2.6 | 0.00 |
| 5(20) | 127.2±8.4 | 0.00 | 43±4 | 0.00 | 0.91±0.12 | 0.00 | 35.2±2.3 | 0.00 |
| 6(10) | 136.4±13 | 0.00 | 47±6 | 0.00 | 1.07±0.15 | 0.00 | 35.2±2.7 | 0.00 |
| adult(82) | 112.6±3.6 | | 0.61±0.06 | | 1.19±0.13 | | 38.9±2.4 | |

1. n: number of legs (number of case×2), 2. p*: from, Student's t-test against the adult group

Table 3. Pelvic Motions(degrees)

| Age group (n) ¹⁾ | Anterior tilt | | | Obliquity (-:downward) | | | Internal rotation (-:external rotation) | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|---|--------------------------------|-----------------|
| | Average of motion mean±s.d. | DRM ²⁾ mean±s.d. | p ³⁾ | Average of motion mean±s.d. | DRM ²⁾ mean±s.d. | p ³⁾ | Average of motion mean±s.d. | DRM ²⁾ mean±s.d. | p ³⁾ |
| | | | | | | | | | |
| 1(16) | 20.27±6.57 | 3.7±0.82 | 0.00 | -0.04±2.55 | 6.95±1.29 | 0.00 | -0.44±5.08 | 10.67±3.29 | 0.22* |
| 2(14) | 10.22±3.65 | 4.09±0.45 | 0.00 | -0.24±2.76 | 7.44±0.4 | 0.00 | -0.09±5.91 | 11.37±2.47 | 0.41* |
| 3(44) | 10.38±4.87 | 2.15±0.35 | 0.00 | 0.05±2.07 | 8.29±0.41 | 0.00 | 0±4.56 | 8.89±2.21 | 0.42* |
| 4(40) | 9.91±3.12 | 2±0.63 | 0.00 | 0.09±1.95 | 8.62±0.91 | 0.00 | 0.24±3.62 | 10.62±1.55 | 0.30* |
| 5(20) | 10.6±4.01 | 1.42±0.63 | 0.00 | 0.03±1.61 | 8±0.64 | 0.00 | 0.01±3.76 | 10.23±1.89 | 0.45* |
| 6(10) | 9.39±3.46 | 1.12±2.56 | 0.16* | 0.08±2.48 | 10.35±1.57 | 0.00 | 0.23±4.54 | 10.14±2.4 | 0.42* |
| adult(82) | 10.82±4.41 | 0.87±0.26 | | 0.01±1.53 | 9.59±0.46 | | 0.07±2.27 | 8.09±0.87 | |

1. n: number of legs (number of case×2), 2. DRM: dynamic range of motion, 3. p*: from Student's t-test against the adult group, *: p≥0.05, the compared two groups are statistically identical

Table 4. Hip Motions (degrees)

| Age group (n) ¹⁾ | Flexion and extension | | | Adduction | | | Internal rotation | | |
|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------|
| | Peak flexion mean±s.d. | DRM ²⁾ mean±s.d. | p ³⁾ | Peak flexion mean±s.d. | DRM ²⁾ mean±s.d. | p ³⁾ | Peak flexion mean±s.d. | DRM ²⁾ mean±s.d. | p ³⁾ |
| | | | | | | | | | |
| 1(16) | 40.23±11.74 | 45.85±19.2 | 0.20* | 10.38±5.42 | 14.04±2.82 | 0.14* | 10.54±9.54 | 18.54±4.84 | 0.00 |
| 2(14) | 31.78±6.78 | 47.07±11.5 | 0.11* | 13.28±6.19 | 16.61±2.72 | 0.00 | 10.57±8.97 | 21±6.67 | 0.01 |
| 3(44) | 33.92±6.97 | 44.9±11.7 | 0.09* | 12.44±4.42 | 14.74±1.7 | 0.00 | 8.69±8.44 | 20.6±3.18 | 0.00 |
| 4(40) | 36.85±9.05 | 45.81±15 | 0.04 | 10.63±3.81 | 13.85±0.97 | 0.00 | 9.57±8.73 | 23.04±2.91 | 0.33* |
| 5(20) | 36.88±7.3 | 45.42±12 | 0.18* | 10.23±3.84 | 12.8±1.44 | 0.00 | 8.78±8.51 | 21.89±6.81 | 0.04 |
| 6(10) | 37.43±5.77 | 45.68±8.75 | 0.25* | 10.00±5.05 | 14.87±2.75 | 0.06* | 6.67±6.54 | 27.15±5.64 | 0.00 |
| adult(82) | 38.35±7.55 | 43.16±13 | | 10.47±39 | 14.36±0.74 | | 3.33±11.49 | 23.17±2.54 | |

1. n: number of legs (number of case×2), 2. DRM: dynamic range of motion, 3. p*: from Student's t-test against the adult group, *: p≥0.05, the compared two groups are statistically identical

수준이다가 2세와 3세, 그리고 5세와 6세에는 성인 수준으로 감소하였다($p \geq 0.05$). 골반 전후방 경사의 동적운동범위는 1세부터 5세까지 성인보다 증가되어 있다가 6세에 성인수준으로 감소하였다($p \geq 0.05$).

관상면에서 골반 상하운동의 평균관절각은 모든 연령군에서 성인수준을 보였으며($p \geq 0.05$), 이것의 동적운동범위는 1세에서 5세까지 성인보다 작고 6세에는 성인보다 크게 나타났다.

횡단면에서 내외회전의 평균관절각은 모든 연령군에서 성인수준을 보였으나($p \geq 0.05$), 동적운동범위

는 모든 연령군에서 성인보다 증가되었다.

(2) **고관절**(Table 4, Fig. 4): 시상면에서 고관절의 최대굴곡각은 2세와 3세에 성인보다 작았으나, 1세와 4세 이후에는 성인수준을 보였다($p \geq 0.05$). 고관절 굴곡-신전의 동적운동범위는 4세군에서 성인보다 크고, 나머지 연령군에서는 성인수준을 보였다($p \geq 0.05$).

관상면에서 고관절의 최대내전각은 2세와 3세군에서만 성인보다 증가되어 있고, 나머지 연령군에서는 성인수준을 보였다($p \geq 0.05$). 이것의 동적운동범위는 1세와 6세에 성인수준이나($p \geq 0.05$), 2세와 3세

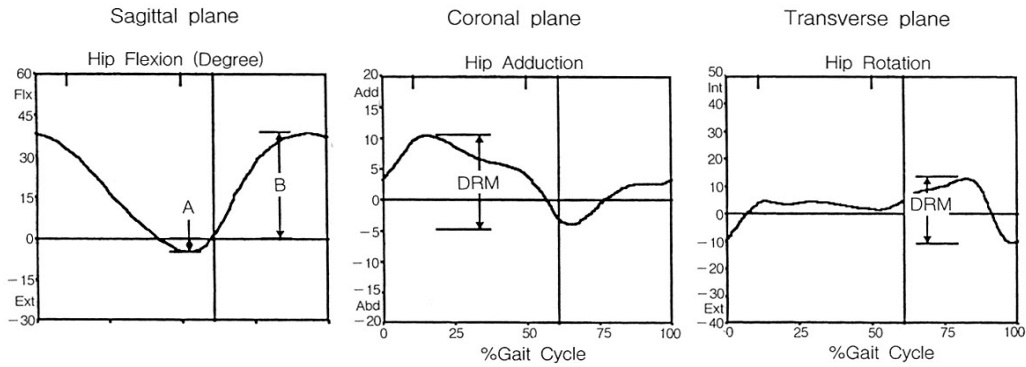


Fig. 4. Hip motion.

A: peak extension, B: peak flexion, DRM: dynamic range of motion, X-axis: % gait cycle, Y-axis: degrees, vertical split line: toe-off moment, horizontal split line: neutral angle

Table 5. Knee Motions (degrees)

| Age group (n) ¹⁾ | Flexion | | Varus (-:valgus) | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------|---------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|
| | Initial flexion wave mean±s.d. | p ^{*2)} | Peak flexion mean±s.d. | p ^{*2)} | Average of motion mean±s.d. | p ^{*2)} | DRM ²⁾ mean±s.d. | p ^{*2)} |
| 1(16) | 3.62±3.87 | 0.00 | 58.48±13.1 | 0.00 | 2.93±7.33 | 0.21* | 24.03±6.49 | 0.00 |
| 2(14) | 10.7±0.75 | 0.03 | 62.75±9.3 | 0.13* | -1±5.47 | 0.03 | 27.46±11.7 | 0.00 |
| 3(44) | 10.79±0.3 | 0.00 | 66.24±8.75 | 0.10* | 0.32±4.63 | 0.01 | 24.45±5.54 | 0.00 |
| 4(40) | 10.42±2.14 | 0.01 | 65.57±12.3 | 0.34* | 2.17±5.41 | 0.28* | 24.99±6.12 | 0.00 |
| 5(20) | 10.99±0.62 | 0.00 | 63.27±9.49 | 0.13* | 2.36±5.74 | 0.31* | 23.25±9.67 | 0.00 |
| 6(10) | 12.74±0.0 | 0.00 | 65.21±10.6 | 0.49* | 1.74±4.56 | 0.49* | 23.88±4.7 | 0.00 |
| adult(82) | 9.819±2.1 | | 65.12±8.33 | | 1.78±6.04 | | 15.47±6.65 | |

1. n: number of legs (number of case×2), 2. p*: from Student's t-test against the adult group, *: $p \geq 0.05$, the compared two groups are statistically identical

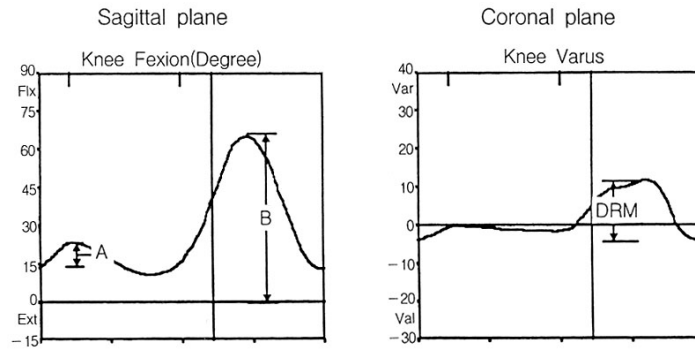


Fig. 5. Knee motion.

A: initial flexion wave, B: peak flexion, DRM: dynamic range of motion, X=axis: % gait cycle, Y-axis: degrees, Vertical split line: toe-off moment, Horizontal split line: neutral angle

Table 6. Ankle Motions (degrees)

| Age group (n) ¹⁾ | Plantarflexion / dorsiflexion | | | | External progression | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|
| | First rocker wave mean±s.d. | p ^{*3)} | DRM ²⁾ mean±s.d. | p ^{*3)} | Average of motion mean±s.d. | p ^{*3)} | DRM ²⁾ mean±s.d. | p ^{*3)} |
| 1(16) | 1.46±1.35 | 0.00 | 19.68±7.23 | 0.00 | 9.35±12.27 | 0.11* | 11.86±4.28 | 0.00 |
| 2(14) | 3.22±1.17 | 0.02 | 24.52±3.53 | 0.00 | 9.09±7.85 | 0.08* | 16.44±5.02 | 0.00 |
| 3(44) | 3.06±0.59 | 0.00 | 24.15±4.01 | 0.00 | 8.69±7.1 | 0.00 | 11.99±2.95 | 0.00 |
| 4(40) | 3.01±0.94 | 0.01 | 24±5.03 | 0.00 | 7.91±7.82 | 0.00 | 9.82±1.78 | 0.00 |
| 5(20) | 3.43±0.89 | 0.00 | 23.61±3.84 | 0.00 | 10.86±8.25 | 0.33* | 12.64±4.93 | 0.00 |
| 6(10) | 2.62±2.27 | 0.26* | 26.54±4.65 | 0.05* | 7.66±5.75 | 0.03 | 12.24±2.48 | 0.00 |
| adult (82) | 2.81±0.72 | | 28.92±4.87 | | 11.47±6.68 | | 9.26±1.7 | |

1. n: number of legs (number of case×2), 2. DRM: dynamic range of motion, 3. p*: from Student's t-test against the adult group, *: p≥0.05, the compared two groups are statistically identical

에는 성인보다 크고 4세와 5세에는 성인보다 작게 나타났다.

횡단면에서 내외회전의 평균관절각은 1세부터 5세까지 성인의 약 3배정도로 내회전이 증가된 모습을 보이고, 6세에 감소하여 성인수준으로 되었다 (p≥0.05). 그리고 이것의 동적운동범위는 4세에만 성인수준을 보이고(p≥0.05), 1세 2세 3세 및 5세에는 성인보다 작게 그리고 6세에는 성인보다 크게 나타났다.

(3) 슬관절(Table 5, Fig. 5): 시상면에서 슬관절 초기굴곡파형(initial flexion wave)의 크기는 초기접지기의 굴곡각과 하중반응시기(loading response)중 최대

굴곡각의 차이로 구하였다. 이것은 1세에 성인의 약 40%이다가 2세부터 6세까지 성인보다 크게 나타났다. 유각기의 슬관절 최대굴곡각은 1세에 성인보다 작았으나, 2세 이후로는 증가하여 성인수준으로 되었다(p≥0.05).

관상면에서 슬관절 내외반의 평균관절각은 1세에 내반이 증가한 후에 2세에 외반을 보이고, 다시 점차 내반이 증가하여 4세부터 성인수준의 내반을 보였다(p≥0.05). 이것의 동적운동범위는 여섯개의 연령군에서 모두 성인보다 증가되어 있었다.

(4) 족관절(Table 6, Fig. 6): 시상면에서 첫 흔들파형(first rocker wave)의 크기는 초기접지기의 발목관

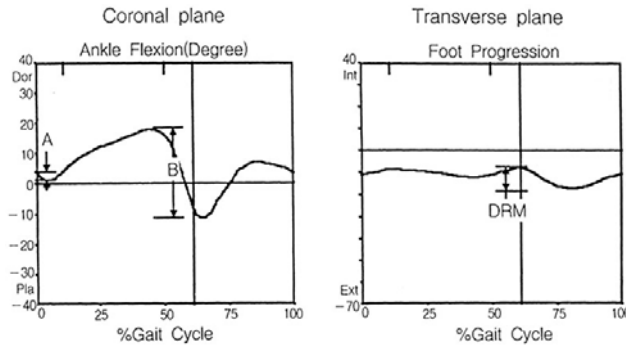


Fig. 6. Ankle and foot motion.

A: first rocker wave, B: third rocker wave, ERM: dynamic range of motion, X-axis: % gait cycle, Y-axis: degrees, Vertical split line: toe-off moment, Horizontal split line: neutral angle

절 각도와 하중반응시기중 최대족저굴곡(plantarflexion) 각도의 차이로 구하였다. 이는 1세에 성인의 약 50% 수준이다가 2세부터 5세까지는 성인보다 약간 크게 증가하였으며, 6세에 감소하여 성인과 유사한 수준이 되었다($p \geq 0.05$). 동적운동범위는 1세에서 5세까지 성인보다 작게 나타나다가, 6세에 증가하여 성인수준으로 되었다($p \geq 0.05$).

횡단면에서 내외회전의 평균관절각은 1세, 2세 및 5세에 성인수준의 외회전을 보이고($p \geq 0.05$), 3세, 4세 및 6세에는 성인보다 외회전이 감소하였다. 한편 이것의 동적운동범위는 모든 연령군에서 성인보다 증가되었다.

고 찰

1988년 Sutherland등은 1세부터 7세까지 백인종 정상 아동 남자 210명, 여자 205명을 대상으로 하여 삼차원 운동형상학적 분석과 운동역학적 분석 결과를 보고하였다.²⁰ 특히 그들의 연구는 표지부착체계와 삼차원 측정방법이 본 연구와 대체로 유사하며 연구에 참여한 아동은 대부분 백인종이어서, 본 연구에 참여한 한국아동과 인종차이로 인한 특성도 드러날 것으로 기대하여 본 연구의 결과를 비교하는 자료로 사용하기로 하였다.¹⁶

그러나 Sutherland등의 운동형상학적 자료를 본 연구의 자료와 비교하려면 Rose 등이 지적하였듯이, 1. 표지부착체계와 관절각도 정의법, 2. 각도측정법

과 수치처리 방식이 삼차원인지, 3. 사용된 동작분석기의 측정오차, 4. 반복측정에 따른 오차가 두 연구에서 동일해야 한다.¹¹ 앞서 연구한 Sutherland등은 운동형상학적 자료를 얻기위해 Cinematography와 Vanguard Motion Analyser를 사용하면서, 피검자가 진행하는 방향을 기준으로 검사실 공간에서 시상면과, 관상면 및 횡단면을 설정하는 전통적인 방법을 택하였다.¹⁶ 이에 비하여 본 연구에서 이용된 Vicon370 시스템의 컴퓨터 자동추적방식은 Sutherland등의 system을 토대로 발전하였지만, 신체표지의 위치를 토대로 신체 내부의 가상 좌표계를 계산해 내고, 이를 기준으로 관절의 움직임을 측정하는 Cardan angle 방법을 채용하였다.²¹ 이처럼 보행분석에서 관절운동 기준면을 정하는 방법이 달라질 때는 특히 횡단면과 관상면에서의 자료들이 영향을 받기 쉬우므로, 본 연구결과를 Sutherland등의 결과와 비교 및 해석할 때 이러한 제한점을 감안하여야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 아동의 각 연령군에 대하여 분석 항목자료가 정상 성인의 것과 같아졌는지를 판정할 때 종래의 주관적 판정이 아닌 편측 T 검증법을 이용하였는데, 이러한 통계의 적용방법은 보행분석 분야에서 아직 전례가 없다. 따라서 이 방법이 통계학적으로 어떠한 문제가 있는지, 그리고 더 나은 방법으로는 어떠한 것인지에 대하여 앞으로 많은 연구를 통해 밝혀져야 할 것이다.

1) 비디오 관찰

Sutherland등은 1.5세의 65%에서 두팔을 번갈아 흔드는 동작 보이다가 3.5세의 98%, 4세부터 모든 아동에서 나타난다고 보고하였으며, 본 연구에서도 이와 유사한 결과가 나왔다. 본 연구에서 1세군의 실제 연령은 1.5세에 해당되었는데, 이들 중 75%에서 초기접지를 뒤꿈치로 하는 것이 관찰되다가 2세 이후로는 전반적으로 95% 이상에서 관찰되었고, Sutherland등의 연구에서는 1세의 50% 이하에서만 이 동작이 보이다가 1.5세 이후에 모든 아동에서 관찰된다고 하였으므로 두 연구간에 유사한 결과를 보였다.

2) 시간 및 거리 보행인자

보행장의 증가가 3세에 약간 둔화되는 것은 Sutherland등의 자료에서 4세 무렵에 이러한 현상이 있었다고 보고한 것과 유사하였다(Fig. 1). 이것은 일시적으로 성장 속도가 둔화되는 것과 연관이 있으며, 아동의 골격발달에 관한 과거 연구에서도 밝혀진 사실이었다.¹⁹⁾ 분속수가 1세와 2세 사이에 가장 급격하게 감소하고 이후로는 완만하게 감소하는 양상은 Sutherland등의 연구결과와 가까운 것이었다(Fig. 2).

Sutherland등의 연구에서도 본 연구에서 처럼 각 아동이 스스로 편안한 속도로 걸게 하였는데, 그 보행속도의 변화는 1세-2세-3세-4세-5세-6세 순서로 보았을 때 평균 0.71-0.72-0.86-1.00-1.08-1.09 cm/sec이었다. 한편, 본 연구에서는 평균 0.86-0.83-0.89-0.97-0.91-1.07 cm/sec 순서로 변화하여 대체로 3세까지는 백인아동보다 약간 빠르게 걷는 것으로 보이나, 전체적으로 볼 때 1세와 4세군에서 고르지 않은 변화를 보였다. 이러한 차이는 본 연구의 대상자 수가 Sutherland등의 연구보다 월등히 작은 것과, 두 인종간에 신장이 급격히 증가하는 시기가 다르기 때문으로 생각할 수 있다.

단하지 지지기 시간은 대상자가 순간적으로 모든 체중을 한 다리에 싣고 조절할 수 있는 능력을 나타내는 대표적 지표로 알려져 있는데, Sutherland등은 이것이 1세부터 점차 증가하여 3.5세에 성인수준에 도달한다고 보고하였으나, 본 연구의 아동들은 6세까지도 성인수준에 이르지 못하였다. 이러한 차이

를 볼 때, 한 다리에 몸무게를 싣고 조절하는 능력이 백인아동보다 한국아동에서 다소 느리게 완성되는 것으로 생각된다.

3) 운동형상학적 분석

(1) 골반: 시상면에서 전방경사의 평균관절각은 1세군에서 가장 증가되어 있다가 그 이후로 감소하여 성인수준이 되었고, 전후방 경사의 동적운동범위는 1, 2세에 3.7~4.09도로 증가되어 있다가 점차 감소하여 6세에 성인수준이 되었는데, 이들은 모두 Sutherland등의 연구에서와 유사한 결과였다. 그러나 Sutherland등은 골반의 이러한 움직임은 크기 자체가 작으므로 보행발달에 있어 그다지 중요한 의미를 갖지 않는다고 보고하였다.

관상면에서 골반 상하운동의 평균관절각은 모든 연령군에서 이미 성인수준이어서 보행 발달과정에 대한 정보를 얻을 수 없었다. 또한 이것의 동적운동범위는 1세에서 4세까지 지속적으로 증가한 후 5세와 6세에는 약간 불규칙하여, 소아연령 증가에 따른 변화가 일정치 않다는 Sutherland의 연구결과와 유사하였다.

횡단면에서 내외회전의 평균관절각은 1세와 2세에는 약간의 외회전 추세를 보인 후에 4세부터 성인과 같은 내회전 추세로 변화하는 양상을 보였지만, 이들의 산술평균치는 통계적으로 성인과 같은 수준이었다. Sutherland등의 연구에서는 대체로 3세 이후로 이것의 동적운동범위가 감소하는 추세라고 보고하였는데, 본 연구의 모든 연령군에서는 이것이 성인보다 증가되어 있었다. 따라서 본 연구의 대상자들은 보행 중에 골반의 움직임을 안정되게 붙드는 하지 근위부 근육들의 발달이 백인아동보다 부족한 것으로 생각되었다.

(2) 고관절: 시상면에서 고관절의 최대굴곡각은 연령에 따라 고르지 않은 변화를 보였으며, Sutherland등도 이것은 연령에 따른 변화가 작은 편이라고 보고하였다. 한편 Sutherland등의 보고에서 굴곡-신전의 동적운동범위는 2세와 3세 사이에 급히 증가하여 이후로 성인과 유사한 크기를 보인다고 하였는데, 본 연구의 모든 연령군에서는 성인수준과 같거나 크게 나타났다. 이는 대상아동의 보행성숙시기가 이르기 때문이 아니라 4세 이하의 대상아동에서 시상면 고관절운동이 불안정하기 때문인 것으로 생각되었다.

Sutherland등은 관상면에서 고관절의 최대내전각과 내외전의 동적운동범위가 2.5세까지 점차 증가한다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 최대내전각이 2세와 3세에 성인보다 오히려 크게 나타나고 나머지 연령군에서는 성인과 같은 수준으로 나타났으며, 동적운동범위도 일정하지 않은 변화를 보였다. 이러한 차이도 3세 이하의 대상아동에서 관상면 고관절 운동이 백인아동보다 불안정함을 시사하였다.

횡단면에서 고관절의 외회전은 2세까지 특히 크게 일어나고 그 이후로 점차 감소하는 추세라고 Sutherland등은 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 내외회전의 평균관절각이 1세와 2세에 성인의 거의 3배 크기로 내회전을 보이다가 3세~5세에 일단 감소하고, 6세에 다시 한번 감소하나, 성인에서도 여전히 내회전쪽으로 몰려 있었다. 이러한 차이는 인류학적 골격발달의 특성이 한국아동과 백인아동에서 서로 다르기 때문인 것으로 생각되었다. 또한 Sutherland등의 연구에서 고관절 내외회전의 동적운동범위는 모든 소아 연령군에서 약 15도라고 보고되었으나, 본 연구에서는 18.5~27.2도로 증가되어 있으면서 연령에 따라 고르지 않은 변화를 보여 대상아동에서 횡단면 고관절 운동이 백인아동보다 불안정한 것으로 생각되었다.

(3) 슬관절: 하중반응시기에 보이는 슬관절 초기 굴곡과형의 크기가 성인수준에 도달하는 시기는 3세라고 Sutherland등의 연구에서 보고하였는데, 본 연구에서는 2세부터 성인보다 크게 나타나서 오히려 관절의 안정성이 저하되었을 가능성도 보였다. 또한 유각기의 슬관절 최대굴곡각은 2세부터 성인수준에 도달하여 Sutherland등의 보고와 일치하였다.

또한 Sutherland등은 슬관절의 외전이 1세에는 거의 중립상태이다가 2.5세까지 외반이 증가하고 이후로 약간 감소하나, 성인에서 대부분 약간의 외반이 남는다고 보고하였다.¹⁸⁾ 그러나 본 연구에서 2세에서만 잠시 외반이 나타나다가 나머지 연령군과 성인에서 모두 내반이 나타난 것은 슬관절 내외반 각도의 연령별 변화에 대한 특성이 한국아동과 백인아동에서 서로 다르기 때문일 것으로 생각되었다. 한편 슬관절의 내외반 동적운동범위는 모든 연령군에서 성인보다 증가되어 있어서 관절의 안정성이 부족함을 시사하였다.

(4) 족관절: Sutherland등은 성인 족관절의 배굴과

후굴 곡선에서 특징적으로 두개의 정상(peak)과 두개의 골(valley)이 보이는데 첫번째 골, 즉 첫 흔들과형은 1.5세 이후의 소아에서만 관찰된다고 하였다. 본 연구에서는 이 과형이 1세와 2세 사이에 급격한 증가를 보인 후에 성인과 같거나 오히려 큰 높이로 나타나서 Sutherland등의 결과와 유사한 측면도 있으나, 관절의 안정성이 부족할 가능성도 보였다. 족관절 배굴과 후굴의 동적운동범위는 1세에서 2세 사이에 급격히 증가하나 6세에 이르러서야 성인수준이 되었으므로, Sutherland등의 결과와 유사하였다.

족관절의 외회전운동 평균치는 1세에 외회전이 매우 증가되어 있다가 2세 이후로 점차 감소한다고 Sutherland등이 보고하였으나, 본 연구에서는 2세까지 성인수준의 외회전을 보이고, 3~4세에 잠시 감소하였다가 5세에 다시 성인수준으로 외회전이 증가하는 양상을 보였다. 소아에서 연령별 경골비틀림의 변화를 추적한 Staheli, Engel의 연구와 Sutherland등의 연구에서 2~3세까지 밖으로 비틀리는 것이 증가되다가 3~4세 무렵에 잠시 멈춘 후 약 5~6세부터 다시 이것이 증가하는 일련의 변화를 밝힌 바 있다.¹⁸⁾ 따라서 본 연구의 결과에서 보인 변화 양상은 골격 성장에 따른 변화와 연관이 있는 것으로 생각되었다. Sutherland등의 연구에서 족관절 외회전운동의 동적운동범위는 대부분의 소아에서 평균 10도라고 하였으나, 본 연구에서는 모든 연령에서 성인의 9.26도보다 통계적으로 증가된 양상을 보여 관절의 안정성이 낮은 것으로 생각되었다.

4) 성인 양상의 보행이 완성되는 시기

보행 양상이 성인처럼 되었는지 판단하는데 유용한 것으로 알려진 세가지 지표¹⁵⁾와 본 연구 대상아동에서 이들이 완성되는 시기는 다음과 같았다.

첫째, 초기 접지를 뒤꿈치로 하는 것은 본 연구에서 2세에 완성되었다.

둘째, 부하반응시기에 슬관절에서 초기 굴곡과형이 나타나는 것은 본 연구에서 2세에 대부분의 아동에서 나타났다.

셋째, 두팔을 번갈아 흔드는 것은 본 연구에서 3.5세에 완성되었다.

이러한 세가지 지표의 완성시기는 Sutherland등의 결과와 매우 가깝게 일치하여 백인아동과 한국아동이 모두 유사한 시기에 성인 양상의 보행이 완성되

는 것으로 볼 수 있었다. 그러나 그 밖의 운동 형상학적 분석결과가 소아 보행발달에 있어서 어떠한 진단적 가치를 갖는지는 앞으로 추가적인 연구가 있어야 밝혀질 것으로 보인다.

Sutherland등은 이러한 지표들이 소아의 매우 초기 연령에 나타나므로 그 진단적 가치에 한계가 있다고 지적하고 단하지 지지기 시간, 보행속도, 분당걸음수, 걸음길이, 골반 넓이(pelvic span)와 두발사이너비(ankle spread)의 비율(P/A ratio)로 구성된 새로운 다섯가지 주요 지표를 제안한 바 있었다. 그러나 그의 연구대상이 되었던 1세와 7세 사이의 아동에서 P/A ratio가 4세에 성인수준에 도달한 것을 제외하면 나머지 지표들은 성인수준에 도달하지 못하였다.²⁰⁾

5) 한국 아동의 보행발달 양상이 백인 아동과 다른 점

동일한 보행분석 방법을 이용해 백인 아동과 타인종 아동을 비교한 예는 1984년 Hennessy등이 아프리카 Kenya 남서부 아동을 대상으로 자료를 수집한 후에 1980년 Sutherland등의 논문과 비교한 것이 있는데, 시간 및 거리에 관한 변수와 시상면 운동형상학적 자료만 분석한 제한이 있었다.⁹⁾ 한편, Sutherland등의 연구대상이 되었던 백인 아동들과 비교할 때, 한국아동의 보행특징은 다음과 같이 정리해 볼 수 있다.

첫째, 보행 중 하지 관절을 안정되게 붙드는 관절 주변 근육의 발달이 한국아동에서 비교적 늦게 형성되는 것으로 여겨진다. 이는 골반, 고관절, 슬관절 및 족관절의 주요 움직임 관찰면에서 전반적으로 나타났다.

둘째, 단하지 지지기 시간이 한국아동에서 상대적으로 작았는데, 이는 하지 주요 관절의 안정성이 늦게 확립되는 것으로 해석할 수 있었다.

셋째, 고관절의 내회전 움직임과 슬관절의 내반 움직임이 백인아동보다 증가되어 있었다.

넷째, 이러한 인종간 차이는 골격 발달형태가 다르기 때문일 수 있으나, 한국아동의 자료와 백인아동의 자료를 얻는 과정에 이용한 관절운동 기준면이 다르게 정의되었기 때문일 가능성도 있다.

6) 본 연구의 제한점

앞서 언급하였듯이 본 연구와 Sutherland등의 연구

는 관절운동 기준면 정의에 차이가 있어서, 특히 횡단면과 관상면의 운동형상학적 자료들은 직접 비교하는데 한계가 있다. 따라서 앞으로 본 연구에서와 동일한 각도 정의법을 사용한 다른 인종집단에서의 연구가 나온다면, 보다 높은 신뢰도를 가지는 비교 결과를 얻을 수 있을 것이다.

또한 본 연구의 대상 아동이 독립보행을 시작한 시기를 따로 기록하지 않았으므로 한국아동이 독립보행을 시작하는 시기가 백인종 아동과 다를 경우에 본 연구의 결과를 Sutherland등의 결과와 비교해석하는데 어려움이 있을 수 있었다. 그리고 골반의 폭과 보폭(step width)을 측정하지 않았으므로 주요 보행성숙 판정인자로 제안된 바 있는 “입각기 발의 위치가 골반의 좌우폭 안에 들어오는 것”이나, “pelvic span/ankle width ratio”를 구하지 못하였다.^{5,15,20)} 향후 연구에서는 이러한 점들을 보완하여 보다 심도있는 분석결과를 제시하고자 한다.

결 론

골반의 횡단면 움직임, 고관절의 시상면, 관상면 및 횡단면 움직임, 슬관절의 관상면 움직임, 족관절의 횡단면 움직임이 Sutherland등의 백인아동보다 전반적으로 증가되어 있어서 보행 중 하지 관절을 안정되게 붙드는 관절주변 근육의 발달이 한국아동에서 비교적 늦게 형성되는 것으로 보인다.

이러한 인종간 차이는 골격 발달형태가 다르기 때문일 수 있으나, 한국아동의 자료와 백인아동의 자료를 얻는 과정에 이용한 관절운동 기준면이 다르게 정의되었기 때문일 가능성도 있다.

참 고 문 헌

- 1) 김봉옥: 임상 보행 분석의 방법. 대한재활의학회지 1994; 18: 191-202
- 2) 김봉옥, 정혜심, 윤승호: 보행분석에서 운동형상학적 검사의 신뢰도 평가. 대한재활의학회지 1996; 20: 140-149
- 3) Beck RJ, Andriacchi TP, Kuo KN, Fermier RW, Galante JO: Changes in the gait patterns of growing children. J Bone Joint Surg 1981; 63(A): 1452-1457
- 4) Burnett CN, Johnson EW: Development of gait in childhood: part I. Dev Med Child Neurol 1971; 13: 196-206

- 5) Burnett CN, Johnson EW: Development of gait in childhood: part II. *Dev Med Child Neurol* 1971; 13: 207-215
- 6) Cahan LD, Adams JM, Perry J, Beeler LM: Instrumented gait analysis after selective dorsal rhizotomy. *Dev Med Child Neurol* 1990; 32: 1037-1043
- 7) Gage JR: Gait analysis in cerebral palsy, Oxford: Mac Keith Press, 1991, p33
- 8) Gage JR: Gait analysis-An essential tool in the treatment of cerebral palsy. *Clin Orthop* 1993; 288: 126-134
- 9) Hennessy MJ, Dixon SD, Simon SR: The development of gait: a study in African children age of one to five. *Child Dev* 1984; 55: 844-853
- 10) Ounpuu S, Gage JR, Davis RB: Three-dimensional lower extremity joint kinetics in normal pediatric gait. *J Pediatr Orthop* 1991; 11: 341-349
- 11) Rose S, Ounpuu S, DeLuca P: Strategies for the assessment of pediatric gait in the clinical setting. *Phys Ther* 1991; 71: 961-980
- 12) Rose S, DeLuca P: Clinical gait analysis a focus on interpretation, Newington: Newington Children's Hospital, 1995, pp F7-F8
- 13) Statham L, Murray MP: Early walking patterns of normal children. *Clin Orthop* 1971; 79: 8-24
- 14) Sutherland DH, Hagy JL: Measurement of gait movements from motion picture film. *J Bone Joint Surg* 1972; 54(A): 787-797
- 15) Sutherland DH, Olsen R, Cooper L, Woo SL: The development of mature gait. *J Bone Joint Surg* 1980; 62(A): 336-353
- 16) Sutherland DH, Olshen RA, Biden EN, Wyatt MP: Methods. In: Sutherland DH, Olshen RA, Biden EN, Wyatt MP, editors. The development of mature walking, Philadelphia: JB Lippincott, 1988, pp3-23
- 17) Sutherland DH, Olshen RA, Biden EN, Wyatt MP: Study plan. In: Sutherland DH, Olshen RA, Biden EN, Wyatt MP, editors. The development of mature walking, Philadelphia: JB Lippincott, 1988, pp30-32
- 18) Sutherland DH, Olshen RA, Biden EN, Wyatt MP: Anthropometric measurements and developmental screening. In: Sutherland DH, Olshen RA, Biden EN, Wyatt MP, editors. The development of mature walking, Philadelphia: JB Lippincott, 1988, pp33-54
- 19) Sutherland DH, Olshen RA, Biden EN, Wyatt MP: Time/distance parameters by age. In: Sutherland DH, Olshen RA, Biden EN, Wyatt MP, editors. The development of mature walking, Philadelphia: JB Lippincott, 1988, pp55-64
- 20) Sutherland DH, Olshen RA, Biden EN, Wyatt MP: Joint angles and film tracing. In: Sutherland DH, Olshen RA, Biden EN, Wyatt MP, editors. The development of mature walking, Philadelphia: JB Lippincott, 1988, pp65-153
- 21) Oxford Metrics editors. Vicon clinical manager, user manual, Oxford: Oxford Metrics Ltd, 1994, pp17-22
- 22) Winters TF Jr, Gage JR, Hicks R: Gait patterns in spastic hemiplegia in children and young adults. *J Bone Joint Surg* 1987; 69(A): 437-441