



한국운동역학회지, 2004, 제14권 3호, pp. 17-35
Korean Journal of Sport Biomechanics
2004, Vol. 14, No. 3, pp. 17-35

보행 시 연령에 따른 하지 관절 내 운동학적 협응과 제어

이경옥*(이화여자대학교)

ABSTRACT

Coordinated Intra-Limb Relationships and Control in Gait Development Via the Angle-Angle Diagram

Lee, Kyung-Ok*(Ewha Womans University)

K. O. LEE. Coordinated Intra-Limb Relationships and Control in Gait Development Via the Angle-Angle Diagram. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 14, No. 3, pp. 17-35, 2004. The purpose of this study is to explain developmental process of gait via angle-angle diagram to understand how coordinated relationships and control change with age.

Twenty four female children, from one to five years of age were the test subjects for this study, and their results were compared to a control group consisting of twenty one adult females.

The Vicon 370 CCD camera, VCR, video timer, monitor, and audio visual mixer was utilized to graph the gait cycle for all test subjects.

Both coordinated Intra-limb relationships, and range of motion and timing according to quadrant were explained through the angle angle diagram.

Movement in the sagittal plane showed both coordinated relationships and control earlier than movement in the coronal or transverse plane. In the sagittal plane, hip and knee coordinated relationships developed first (from one year of age.) Coordinated relationships in the knee and

* yikok@ewha.ac.kr

ankle and hip and ankle developed next, respectively. Both hip and ankle and knee and ankle development were inhibited by the inability of children to completely perform plantar flexion during the swing and initial double limb support phases. Children appeared to compensate for this by extending at their hip joint more than adults during the third phase, final double limb support. In many cases the angle angle diagram for children had a similar shape as adult's angle angle diagram. This shows that children can coordinate their movements at an early age. However, the magnitudes and timing of children's angle angle diagrams still varied greatly from adults, even at five years of age. This indicates that even at this age, children still do not possess full control of their movements.

KEY WORDS : COORDINATION, CONTROL, INTER-LIMB RELATIONSHIP,
GAIT DEVELOPMENT, ANGLE-ANGLE DIAGRAM.

I. 서 론

1. 연구의 필요성

보행은 인간이 태어나서 죽을 때까지 인간적인 생활을 영위하는 일상생활 속에서, 노동 속에서, 또 여가 생활 속에서 가장 많이 사용되어지는 필수적인 이동 운동의 한 형식이다. 이 보행이 되지 않을 때 인간은 어떠한 활동, 운동, 노동도 할 수 없는 불완전한 상태라고 말할 수 있다.

보통 간단하다고 생각할 수 있는 이러한 이동 동작(locomotor)은 사실은 무수한 생체역학적(Biomechanical), 신경근육학적(neuromuscular)요소들의 협응에 의한 산물이다.

협응이란 신체 분절 및 사지간의 시공간적인 관계의 구체화이다. 반면 제어란 협응을 구성하는 신체 분절과 사지에 시공간적인 크기를 할당하는 과정이다. 즉, 협응이 신체 부분들의 상호작용에 의해 형성되는 질적인 형태인 반면 제어는 개별 구성 요소에게 매개 변수를 지정하는 양적인 조절 과정이다(Kugler 등, 1980,1982;Newell, 1985).

협응에 관한 연구는 운동학적(Abraham & Shaw, 1981 ; Garfinkel,1983 ; Winstein & Garfinkel, 1989), 운동 역학적 변인(Caldwell & Clark, 1990)을 가지고 다양하게 설명되어 질 수 있다.

각도-각도 도면은 두 개의 상호 수직축에 관절각의 위치(angular position)의 이차원적 상호 변화(covariation)를 나타내어 하지 관절간(inter limb), 관절내(intra limb) 동시적으로 일어나는 시공간적

상호 변화를 나타내준다. 그러므로 각도-각도 도면을 이용하면 두 관절의 연관 관계를 분명히 알 수 있고, 행동의 특징적인 패턴을 구분할 수 있다. 한 관절각에 대응하는 다른 관절각의 값은 관절간의 협응을 알 수 있게 하는데, 만약 한쪽 다리 내에서 무릎 관절각과 발목 관절각간의 관계를 알아본다면 나타내어지는 도면은 하지내(intralimb)관절의 협응을 설명해준다(Grieve,1968).

2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 아동의 연령이 증가함에 따른 보행 발달 과정과 특성을 각도-각도 도면을 이용하여 하지 관절 내 협응과 제어의 관점에서 삼차원적으로 설명하는데 있다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구의 피험자는 독립적으로 10보 이상 보행이 가능한 1세부터 5세까지의 어린이 각 5명으로 하였고, 대조군으로 임신의 경험이 없는 20대 일반 여성 21명의 데이터를 사용하였다.

2. 실험도구

운동학적 자료 수집을 위하여 VICON 370 적외선 카메라 6대, Data station, Control PC, CCD 카메라 2대, VTR, 모니터, 시간 동조기, 25mm 반사 마커를 사용하였으며, VICON 370 소프트웨어로 분석하였다.

3. 실험절차

VICON 370 자료 산출 방법에 따라 운동학적 자료를 위해 피험자의 천골(sacrum), 좌우 상전장골극(anterior superior illiac spine, ASIS) 좌우측 대퇴부(femur), 좌우측 무릎(knee), 좌우측 경골부(tibia), 좌우측 발목(ankle), 좌우측 발가락(toe), 좌우측 발 뒤꿈치(heel)에 부착하고 지정된 보행로를 걷게 하였다.

4. 자료처리

실험 오차를 줄이기 위하여 5회 이상 실시한 결과의 평균치를 사용하였고 비정상 보행은 제외하였다. 실험 결과는 정상 성인여자 21명의 평균치와 비교하였다(장윤희 외 1998). DLT방법을 이용하여 3차원 좌표를 계산하였고, 시상면, 관상면, 횡단면 각각에서의 관절 운동의 각도-각도 도면을 사용하였다.

5. 분절 내 협응 관계

1968년 Grieve는 처음으로 각도-각도 도면을 이용하여 보행 시 하지 동작 유형을 4종류로 분류하여 설명하였다. 그것은 첫째, 한 관절각만 변하고 다른 관절각은 변하지 않는 수평 혹은 수직 모양을 나타내는 상호 비결속된 협응(i. Horizontally or Vertically Aligned, Decoupled), 둘째는 두 관절의 각이 일정한 비율로 정적 혹은 부정 기울기를 지니면서 변하는 능동적 협응(ii. positive; In Phase, negative; Out of Phase), 셋째는 전환점 동조(iii. Turning Point Synchronization)로 두 관절이 동시에 최대값에 도달하고 동시에 방향을 전환하는 협응, 넷째는 두 관절의 각이 원형 궤도를 이루는 비결속 협응(iv. Phase Offset)이다.

그러나 Grieve의 분류는 보행 전체 주기 동안의 두 관절간, 내 관계를 설명한 것으로 구간별로 세분화하여 설명하지 않았다는 제한점을 가진다.

본 연구에서는 Grieve(1968)의 아이디어를 기반으로 하여 두 관절간, 내 관계를 12 종류로 분류하여 설명하였다.

두 관절 간 관계는 결속(coupled movement), 비결속(decoupled movement) 운동으로, 그것은 다시 직선(linear)과 곡선(curved)관계로 구분하였다. 직선과 곡선의 관계는 다시 관절의 각도가 함께 혹은 따로 증가, 감소하는 것을 가지고 분류하였다. 결속의 관계는 한 관절과 다른 관절이 함께 변화하는 것이며, 반면 비결속 관계는 한 관절이 움직일 때 다른 관절은 각도의 변화를 보이지 않는(움직이지 않고) 것이다. 그러므로 결속의 관계는 곡선과 직선의 관계가 모두 성립되나 비결속 관계는 직선의 관계만 성립한다.

이상을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 결속 - 곡선 - xy증가(Coupled-curved-xy increase)
- 2) 결속 - 곡선 - xy 감소(Coupled-curved-xy decrease)
- 3) 결속 - 곡선 - x증가, y 감소(Coupled-curved-x increase y decrease)
- 4) 결속 - 곡선 - x 감소, y 증가(Coupled-curved-x decrease y increase)
- 5) 결속 - 직선 - xy 증가 ↗ (Coupled-linear-xy increase ↗)
- 6) 결속 - 직선 - xy 감소 ↘ (Coupled-linear-xy decrease ↘)

- 7) 결속 - 직선 - x 증가, y 감소 ↘ (Coupled-linear-x increase y decrease ↘)
- 8) 결속 - 직선 - x 감소, y 증가 ↗ (Coupled-linear-x decrease y increase ↗)
- 9) 비결속 - 직선 x 증가(y 불변) → (Decoupled-linear-x increase (y constant) →)
- 10) 비결속 - 직선 x 감소(y 불변) ← (Decoupled-linear-x decrease (y constant) ←)
- 11) 비결속 - 직선 y 증가(x 불변) ↑ (Decoupled-linear-y increase (x constant) ↑)
- 12) 비결속 - 직선 y 감소(x 불변) ↓ (Decoupled-linear-y decrease (x constant) ↓)
- 13) 전환점 동조(Turning point synchronization)는 두 관절의 움직임이 동시에 최대값에 도달하고 동시에 방향을 역으로 바꾸는 것이다.

6. 사분도면에서의 움직임

움직인 각도의 범위와 관절의 굴곡, 신전 운동을 두 관절의 관계와 함께 분석하기 위하여 각도-각도 도면을 사분도면 상에 그려 넣었다. 각도-각도 도면에서 양(+)의 방향은 굴곡 운동이고, 음(-)의 방향은 신전운동이다. 그러나 발목 관절은 관절의 특성상 이러한 규칙에서 예외를 갖는다. 즉, 양(+)의 방향은 배굴(dorsi flexion)이고, 음(-)의 방향은 저굴(plantar flexion)이다.

a) 일분도면

일분도면에서의 움직임은 x, y축 모두 +각도이다. 이때 양의 방향으로의 움직임은 두 관절의 운동이 모두 중립에서부터 굴곡됨을 나타내고, 반대 방향으로의 움직임은 중립으로 돌아가는 신전운동을 뜻한다.

b) 이분도면

이분도면에서의 x축의 움직임은 -각도이고, y축에서의 움직임은 +각도이다. 그러므로 x축의 관절은 신전운동을 y축의 관절은 굴곡 운동을 하는 것이다. 그러나 이분도면에서도 역시 x축의 음의 방향으로의 운동은 신전이고, 중립으로 향하는 양의 방향으로의 운동은 굴곡을 의미한다. y축에서의 움직임 역시 양의 방향으로의 움직임은 굴곡이고 중립으로 향하는 음의 방향으로의 움직임은 신전운동이다.

c) 삼분도면

삼분도면은 x,y축 모두 음의 방향으로의 움직임으로 신전운동을 뜻한다. 그러나 삼분도면에서의 움직임도 역시 중립에서부터 음의 방향으로의 운동이 신전 운동이고 중립으로 돌아가는 반대 방향으로의 움직임은 굴곡 운동이다.

d) 사분도면

사분도면에서의 움직임은 x축은 양의 방향 즉, 굴곡운동이며 y축은 음의 방향 즉, 신전 운동이다. 그러므로 x축에서도 양의 방향으로의 움직임은 굴곡이고 중립으로 돌아가는 반대 방향의 움직임은 신전이고, y축에서도 음의 방향으로의 움직임은 신전이며 중립으로 돌아가려는 반대 방향으로의 움직임은 굴곡운동이다.

7. 보행주기

운동 역학 분야에서는 동작의 특성을 잘 설명하기 위하여 전체 동작을 동작의 특성에 따라 구간으로 나누고 있다. 보행 주기 내에서 유아의 연령이 증가함에 따라 어느 구간부터 어떤 발달 단계를 거쳐 발달하는 가를 규명하기 위하여 보행 주기를 4구간으로 구분하였다. 1구간은 초기 양하지 지지기로 초기 접지(initial contact)부터 반대발 앞꿈치 들기(opposite toe off)까지이다. 2구간은 단하지 지지기로 반대발 앞꿈치 들기부터 반대발 뒤꿈치 접지(opposite heel contact)까지이고, 3구간은 말기 양하지 지지기로 반대발 뒤꿈치 접지부터 앞꿈치 들기(toe off)까지 이며, 마지막으로 4구간은 유각기로 앞꿈치 들기부터 뒤꿈치 접지(heel contact)까지이다.

Ⅲ. 결과 및 논의

1. 시상면

1) 엉덩 관절과 무릎 관절내

<그림 1 >은 엉덩 관절과 무릎 관절내의 각도-각도 도면이다. 가로는 엉덩 관절각이며 세로는 무릎 관절각이다. 엉덩 관절각에서 0을 기준으로 하여 +방향은 엉덩 관절 굴곡(hip flexion)이며 -방향은 엉덩 관절 신전(hip extension)이다. 무릎 관절각에서도 0을 기준으로 하여 +방향은 무릎 관절의 굴곡(knee flexion)이며, -방향은 무릎 관절의 신전(knee extension)을 나타낸다.

a. 보행 주기의 관절내 협응 관계

1세부터 5세 아동의 보행시 무릎 관절과 엉덩 관절내의 각도-각도 도면의 전체적인 유형을 보면 오른쪽으로 치우친 물방울 모양으로 1세부터 성인과 유사한 형태를 보이고 있어, 무릎 관절과 엉덩 관절내에는 1세부터 성인과 비슷한 협응으로 보행하고 있음을 알 수 있다.

b. 보행 구간별 관절내 협응 관계

또한 각 구간별로 유형을 구별해 보아도 1세부터 성인과 유사함을 알 수 있다. 즉 1구간(초기 양하지 지지기)은 부적 기울기를 가지는 비결속 협응(out of phase)을 이루며, 2구간(단하지 지지기)은 엉덩 관절각이 작아질 때(extention) 무릎 관절각도 작아지는(extention) 결속 협응(in phase)을 이루고 있다. 3구간(말기 양하지 지지기)에서 특기할만한 것은 3구간 시작(반대발 뒤꿈치 접지 순간)에서 전환점 동조(turning point synchronization)가 나타나 두 관절이 움직임을 동시에 역방향으로 바꾸는 것을 볼 수 있다. 그러므로 2구간(반대발 발가락 들림기~ 반대발 뒤꿈치 접지 ; 단하지 지지기)과 3구간(반대발 뒤꿈치 접지~발가락 들림 ; 말기 양하지 지지기)은 움직임이 역 방향임을 알 수 있다. 4구간(발가락 들림~뒤꿈치 접지 ; 유각기)은 대략적으로 둘로 나눌 수 있는데, 그 첫 번째는 결속 협응(in phase)을 이루고 있으나, 두 번째는 거의 수직 궤도로 무릎 관절각만 변하고 엉덩 관절각의 변화는 거의 없는 엉덩 관절과 무릎 관절간의 상호 비결속(decoupled) 협응을 보여주고 있다.

c. 연령과 사분도면에 따른 운동의 범위

각도-각도 도면의 모양이 1세부터 성인과 유사한 형태로 나타나 유아 보행의 협응은 1세부터 성인과 비슷하게 하고 있다고 말 할 수 있으나 연령에 따른 엉덩이 관절과 무릎 관절 내의 운동의 범위는 차이가 있다. 일세에 엉덩이 관절의 움직임은 일사분면에서만 있으나 2세부터 이사분면에서의 움직임이 나타난다. 이것은 2세부터 엉덩 관절의 신전이 나타난다는 것을 의미한다. 3세에는 엉덩 관절 신전이 15도 정도까지 과도하게 나타나며, 이러한 현상은 5세까지도 나타나고 있어 엉덩 관절의 신전이 성인에 비해 과도함을 알 수 있다. 그러나 연령이 증가해 감에 따라 엉덩 관절의 신전 각도가 줄어들고 있어 성인과 비슷하게 조절하려고 하는 노력을 엿볼 수 있다.

무릎의 운동 범위 역시 연령에 따라 변화하고 있다. 1세 어린이는 무릎의 운동 범위가 1분 도면에서만 있어 굴곡만을 하고 있으나 연령이 증가함에 따라 무릎의 신전의 범위가 증가하여 5세에는 거의 무릎을 편 상태로 걷는 것을 볼 수 있어 5세에도 성인과 같은 조절을 하지 못함을 알 수 있다.

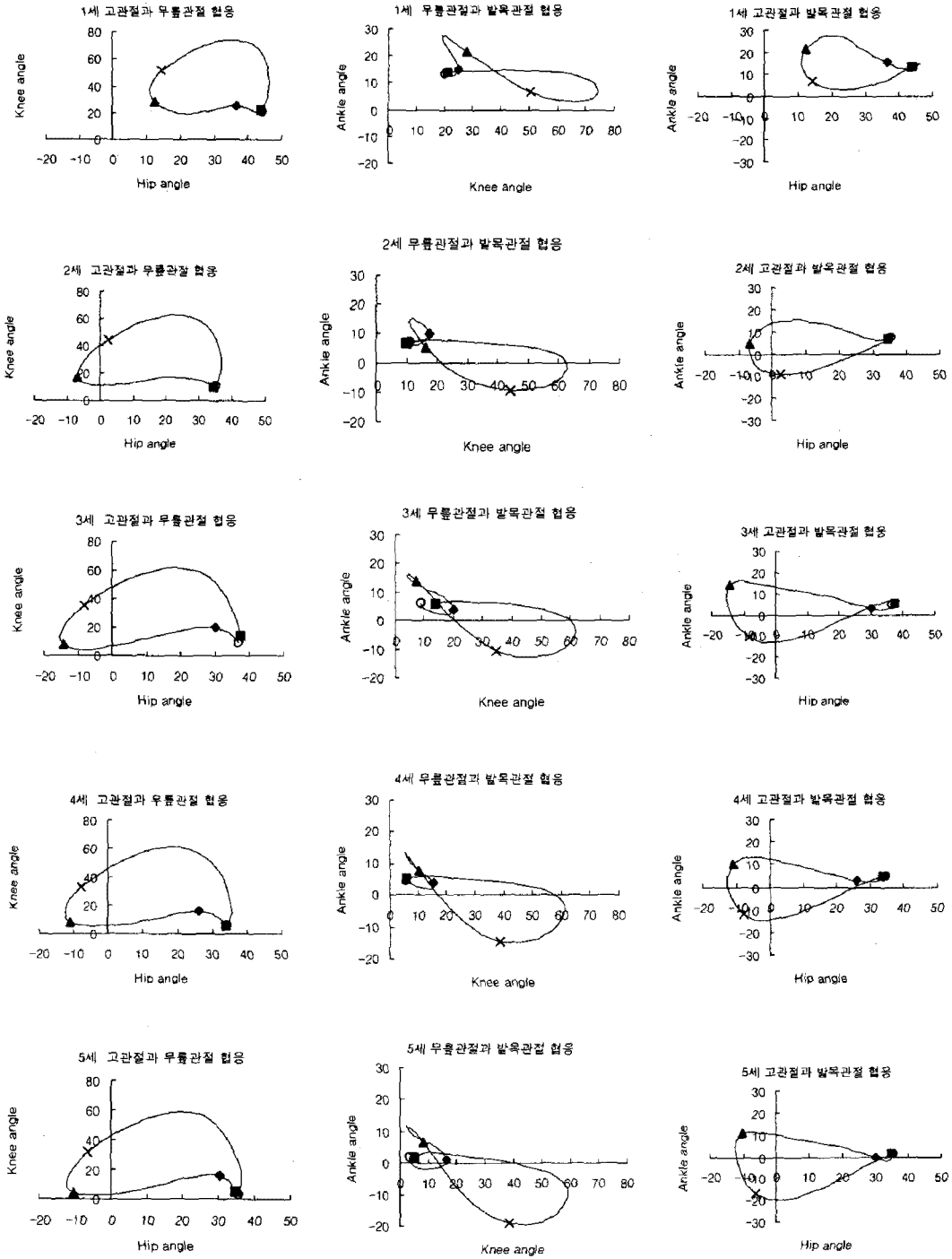
2) 무릎 관절과 발목 관절내

무릎 관절과 발목 관절내의 각도-각도 도면의 가로는 무릎의 굴곡(+각)과 신전(-각)을 나타내며, 가로는 발목 관절의 배굴(+각)과 저굴(-각)을 나타낸다.

a. 보행 주기의 관절내 협응 관계

성인의 전체적인 유형을 보면 묽음이 두 개있는 주머니 모양을 하고 있다. 연령별로 이 유형을 성인과 비교하면, 1세부터 이 묽음이 나타나고는 있으나 5세까지도 성인과 같이 매끄럽고 단정한 모양의 묽음이 아니고 서로 얽히고 설킨 묽음이다. 이것은 다른 구간 보다도 특히 1구간(초기 접지~반대발 발가락 들림 ; 초기 양하지 지지기)과 2구간(반대발 발가락 들림~반대발 발뒤축 접지 ; 단하지

지지기의 협응이 성인과 매우 다르게 나타나기 때문이다.



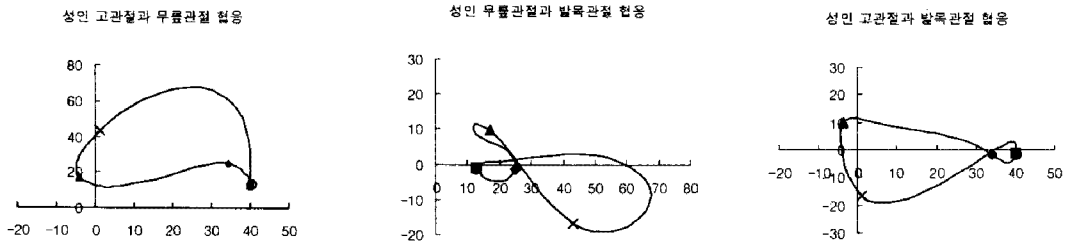


그림 1. 시상면에서의 하지 관절 내 각도-각도 도면

b. 보행 구간별 관절내 협응 관계

보행의 처음 두 구간(초기 양하지 지지기와 단하지 지지기)은 주머니의 두 묶음 부분으로 매우 특이한 형태를 이룬다. 성인의 경우 1구간은 전환점 동조(turning point synchronization)를 갖는 무릎 관절의 각은 굴곡하고 발목 관절의 각은 저굴, 배굴하는(x increase, y decrease and increase)결속 곡선(coupled, curved) 관계이다. 두 번째 구간역시 결속 곡선 관계이나 발목 관절이 배굴하고 무릎 관절이 신전, 굴곡하는 반대의 관계를 갖는다(y increase, x decrease and increase). 삼 구간은 무릎 관절은 굴곡하고 발목 관절은 저굴하는 결속 직선 관계(coupled and linear with x increasing and y decreasing)이다. 네 번째 구간의 1/3은 전환점 동조가 있는 무릎이 굴곡하고 발목이 저굴하는 결속 곡선 관계(coupled, curved (x increase, y decrease))이나 그 이후에는 무릎이 신전하고 발목의 움직임이 고정되는 비결속 직선 관계(decoupled and linear with x decreasing and y constant)이다.

유아의 경우 두 번째 구간(단하지 지지기)이 성인과 가장 큰 차이를 보이고 있다. 이 두 번째 구간은 전환점 동조가 있는 무릎 굴곡, 신전, 발목 배굴, 저굴이 모두 포함된 구간으로 전환점 동조 이전은 성인과 비슷하나 이후에 더 큰 차이를 보이고 있다. 이 차이는 무릎 굴곡과 발목 저굴의 타이밍이 주 원인으로 보이며, 또한 유아의 발목 저굴 능력의 제한 때문이기도 하다. 이것은 성인의 경우 주로 4분도면에서 움직이고 있어 발목의 저굴 운동이 되고 있으나, 유아의 경우 1분도면에서 움직이고 있기 때문에 발목의 저굴이 덜 발달됨을 알 수 있다. 즉, 유아의 경우 단하지 지지기 동안 한발로 균형을 잡는 과정에서의 관계는 무릎 관절과 발목 관절 내의 움직임의 범위도 다르며, 타이밍도 잘 맞지 않는 것으로 보인다. 이것은 이 구간 동안에서의 무릎과 발목 관절간의 협응이 제일 어려우며, 그러므로 제일 늦게 발달되는 것으로 보인다.

c. 연령과 사분도면에 따른 운동의 범위와 타이밍(timing)

비록 각도-각도 도면의 모양이 비슷하다하더라도 연령에 따른 보행시 관절의 움직임 범위와 타이밍이 성인과 달라 차이가 있음을 알 수 있다. 먼저 관절의 움직임 범위의 차이는 초기 양하지 지지기에서 볼 수 있다. 성인의 경우 초기 양하지 지지기는 사분도면에서 시작하나 5세 어린이를 제외한 1,2,3,4세 어린이들은 일분도면에서 시작한다. 이것은 어린이의 경우 초기 양하지 지지기에서 발목 관절의 저굴과 배굴을 조절하는 능력이 부족하다는 것을 알 수 있다.

타이밍이 성인과 다른 경우는 두 번째 구간(단하지 지지기)과 세 번째 구간(말기 양하지 지지기)에서 볼 수 있어 성인과 다른 제어를 하고 있음을 알 수 있다. 두 번째 구간, 즉 단하지 지지기 동안 한발로 균형을 잡는 과정에서의 관계는 무릎 관절과 발목 관절 내의 움직임의 범위도 다르며, 타이밍도 잘 맞지 않는 것으로 보인다. 이것은 이 구간 동안에서의 무릎과 발목 관절간의 협응이 제일 어려우며, 그러므로 제일 늦게 발달되는 것으로 보인다.

3) 엉덩이 관절과 발목 관절내

엉덩이 관절과 발목 관절내의 각도-각도 도면은 가로가 고관절 각도이며 세로는 발목 관절각이다. 엉덩이 관절 각도는 0을 중심으로 양의 각과 음의 각으로 나뉘는데, 이때 양의 각은 엉덩이 관절 굴곡을, 음의 각은 엉덩이 관절 신전을 뜻한다. 발목 관절역시 0을 중심으로 양의 각과 음의 각으로 구분하는데, 이때 양의 각은 발목의 배굴(dorsi flexion)을, 음의 각은 발목의 저굴(plantar flexion)을 의미한다.

a. 보행 주기의 관절내 협응 관계

연령별로 엉덩이 관절과 발목 관절간의 각도-각도 도면의 전체적인 유형을 살펴보면, 성인의 경우 옆으로 누운 8자 모양을 하고 있다. 이 옆으로 누운 8자 모양은 3세에 나타나기 시작하였으나 성인과 같지 않고, 5세에도 성인과 유사하지 않아 성인과 같은 협응을 하지 못함을 알 수 있다.

b. 보행 구간별 관절 내 협응 관계

성인의 경우 1구간은 전환점 동조를 가지는 결속 곡선(coupled and curved with turning point synchronization)관계이다. 이 구간에서 엉덩이 관절과 발목 관절의 각은 감소하기 시작하고 전환점 동조 후에 엉덩이 관절각은 계속 감소하나 발목 관절각은 증가한다. 2구간은 결속, 직선 관계로 엉덩이 관절 각이 감소할 때 발목 관절 각은 증가한다. 2구간 끝에 전환점 동조가 일어난다. 3구간 시작에서 각도-각도 도면은 방향이 바뀌면서 엉덩이 관절 각이 증가하고 발목 관절 각이 감소하는 결속 곡선 관계를 가진다. 4구간은 약간 복잡한 형태를 보이고 있는데, 4구간 대부분은 엉덩이 관절과 발목 관절 각이 증가하는 결속 곡선 관계이다. 4구간 끝에서 전환점 동조가 일어나고 그 후에 엉덩이 관절 각은 변화가 없고, 발목 관절 각이 감소하는 비결속 직선 관계를 보여준다.

3, 4, 5세 어린이도 성인과 비슷하게 누운 8자 모양을 하고 있으나 성인의 것과는 약간 다른 모양을 하고 있다. 특별히 성인과 다른 구간은 1구간(초기 접지~반대발 발가락 들림 ; 초기 양하지 지지기)과 4구간(발가락 들림~뒤꿈치 접지 ; 유각기) 말기이다. 1구간은 1세와 2세 유아에게서 특별히 성인과 다르게 나타나는데, 이것은 초기 양하지 지지기에서 발목 관절의 저굴과 배굴이 나타나지 않은 결과이다. 4구간 말기 역시 성인과 다른 것은 발목 관절의 저굴(plantar flexion)이 나타나지 않은 결과이며, 이상의 사실로부터 5세가 되어도 발목의 저굴은 나타나지 않아, 발을 뒤로 밀어내는 추진

력은 5세가 되어도 덜 발달됨을 알 수 있다.

c. 연령과 사분도면에 따른 운동의 범위와 타이밍(timing)

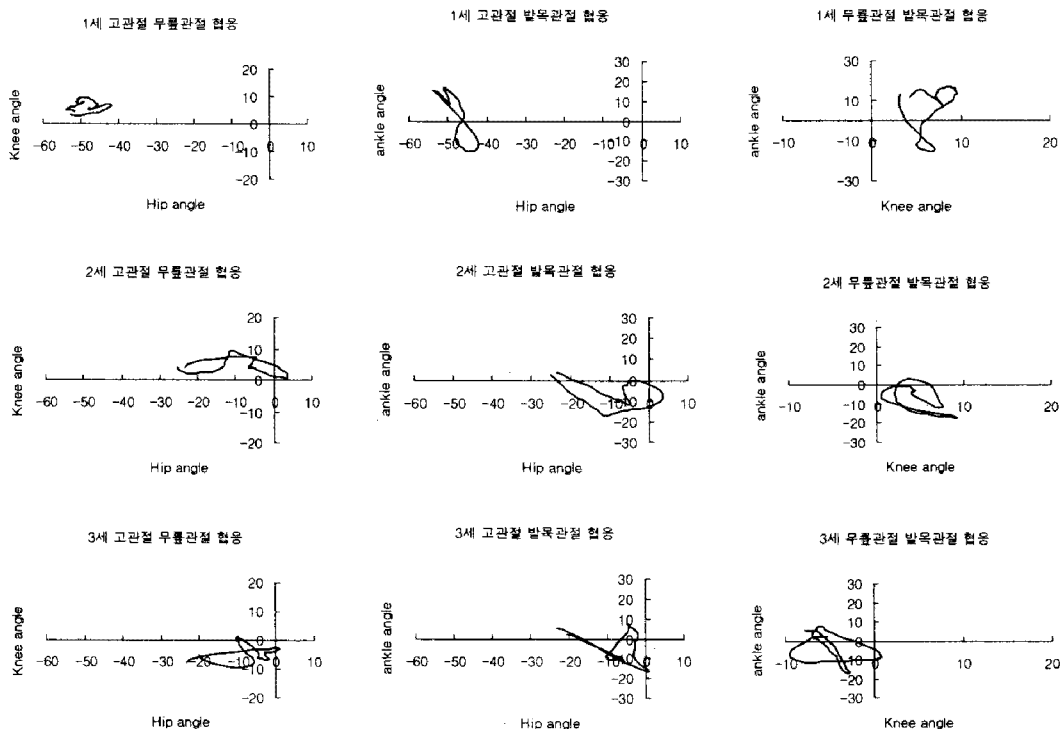
1세에는 1분도면에서의 움직임이 없다. 이것은 엉덩 관절과 발목 관절의 음(-)의 각 내에서의 움직임이 없다는 것을 의미하며, 즉 엉덩 관절 신전(hip extention)과 발목 관절의 저굴(palntar flexion) 움직임이 없다는 것을 의미한다. 또한 전체 각도-각도 도면의 폭도 매우 작아 성인 보다 움직임이 적다는 것을 알 수 있다.

각도-각도 도면에서 성인과 어린이와의 큰 차이는 단연 발목 관절의 배저굴 운동으로 어린이는 배저굴 운동이 성인에 비해 덜 발달되었음을 알 수 있다.

2. 관상면

1) 엉덩 관절과 무릎 관절간의 각도-각도 도면

관상면에서의 운동은 엉덩 관절과 무릎 관절간의 각도-각도 도면을 그려 살펴보았다<그림 2>. 유아 보행시 연령별 엉덩 관절과 무릎 관절간의 관상면에서의 각도-각도 도면을 보면 연령별로 전혀 다른 유형을 보이고 있다. 이것은 구간별로 세분화하여 살펴보아도 역시 전혀 다른 유형을 나타내 관상면에서의 운동이 시상면에서의 운동보다 더 늦게 안정됨을 알 수 있다.



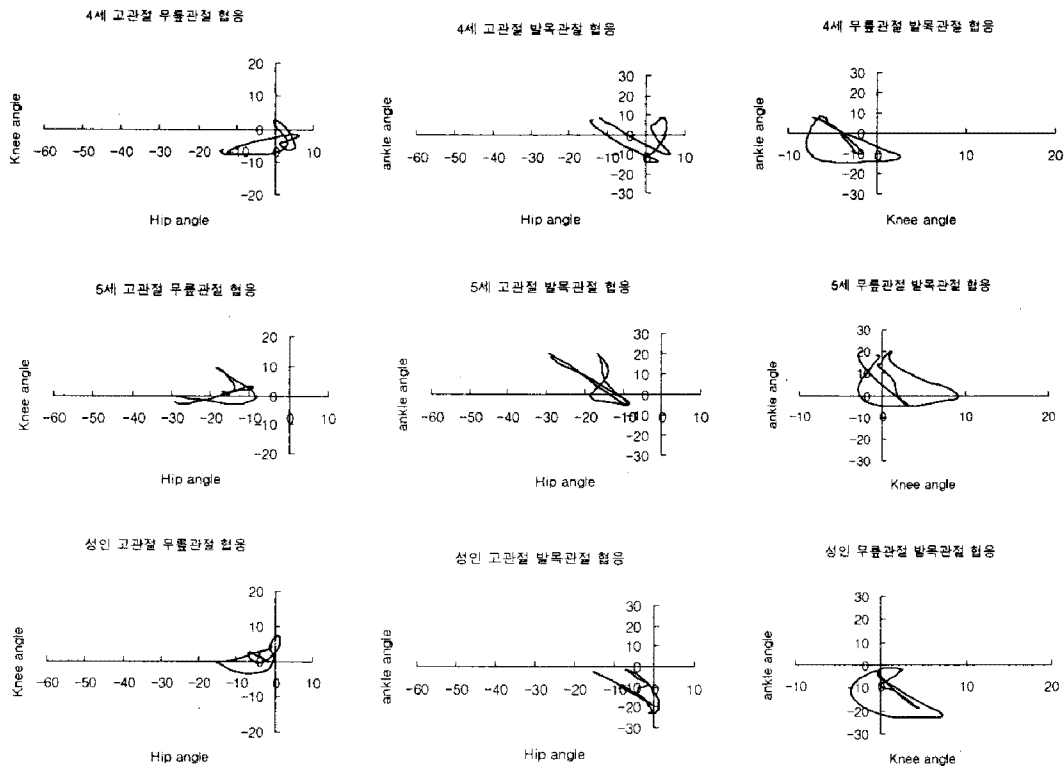


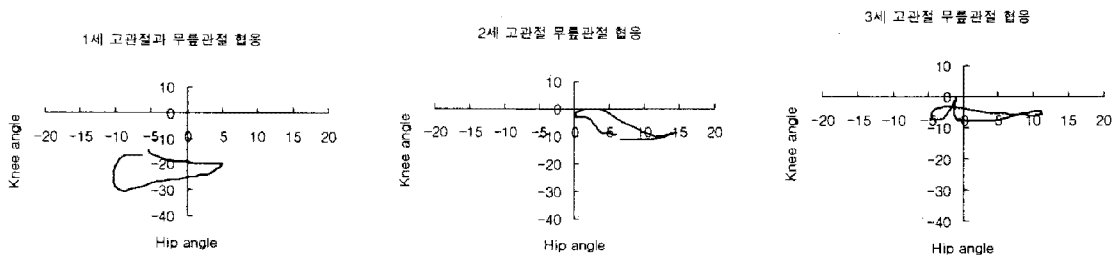
그림 2. 관상면에서의 하지 관절 내 각도-각도 도면

3. 횡단면

1) 엉덩 관절과 무릎 관절간의 협응

유아 보행시 연령별로 엉덩 관절과 무릎 관절간의 각도-각도 도면을 횡단면에서 살펴보면 성인과 유사한 유형이 없으며, 그 발달 과정도 일관성이 보이지 않는다.

구간별로 세분화하여 분석해 보아도 일관성이 없으며, 연령별로 모두 다르게 협응하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 횡단면에서의 운동은 다른 면과 비교하였을 때 가장 늦게 발달된다는 결론을 내릴 수 있다.



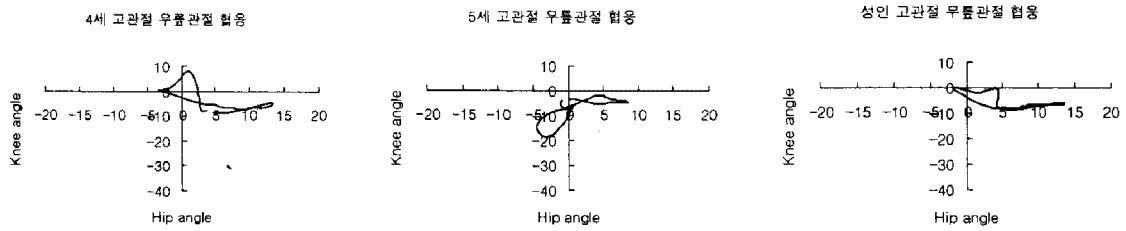


그림 3. 횡단면에서의 하지 관절 내 각도-각도 도면

2) 무릎 관절과 발목 관절간의 협응

무릎 관절과 발목 관절간의 각도-각도 도면은 1,2세는 특별한 유형이라고 할 수 없게 전혀 다른 형태를 보이고 있으나, 3세부터 성인과 유사한 유형으로 발달되어 가는 과정을 엿볼 수 있으나 5세에도 성인과 같은 유형이 나타나지 않고 있다.

3) 엉덩 관절과 발목 관절간의 협응

엉덩 관절과 발목 관절간의 각도-각도 도면을 보면 1세에서부터 5세까지 모두 다른 유형을 보이고 있으며, 발달되어 가는 유형을 보이지 않는다. 또한 5세에도 성인과 다른 유형을 보이고 있어 횡단면에서의 고관절과 발목 관절간의 협응은 제일 늦게 발달되어 간다고 말할 수 있다.

V. 결론 및 제언

1. 보행 발달 과정

각도-각도 도면으로부터 다음과 같은 보행 발달 과정을 알 수 있다.

1. 시상면에서의 운동이 관상면, 횡단면 보다 먼저 발달 된다.
2. 협응이 먼저 발달 되고 관절의 움직임은 세부적으로 조절하는 제어가 나중에 발달된다.
3. 시상면에서 엉덩관절과 무릎 관절과의 협응적 관계가 가장 먼저 발달 되며(1세), 이 두 관절의 시상면에서의 움직임, 즉 굴곡과 신전 운동이 어린이의 보행에서 주된 역할을 하고 있다.
4. 굴곡과 신전 운동 중 굴곡 운동이 신전 운동 보다 먼저 발달되며, 발목 관절에서는 배굴운동이 저굴 운동보다 먼저 발달된다.
5. 두 번째 협응적 발달을 보여주는 관절과 움직임 면은 시상면에서의 무릎과 발목관절의 운동이다(3세).
6. 시상면에서는 모든 관절의 움직임에서 2구간(단하지 지지기)이 가장 늦게 발달된다.

7. 시상면에서는 엉덩이 관절과 발목관절의 협응적 관계가 가장 늦게 발달되어 5세에도 성인과 같은 관계를 보여주지 못한다.
8. 시상면에서 가장 늦게 발달되는 관절의 운동은 발목 관절의 저굴운동이다.
9. 어린이는 시상면 3구간에서 엉덩이 관절의 신전운동이 성인 보다 크다. 성인의 경우 엉덩이와 발목 관절, 무릎과 발목 관절의 협응적 관계를 보면 발목 관절의 배저굴 운동이 어린이 보다 큼을 알 수 있다. 이러한 사실로부터 어린이는 발목관절의 배저굴 운동 능력이 덜 발달된 것을 보상하기 위해 엉덩이 관절을 과신전함을 알 수 있다.
10. 시상면에서 무릎과 발목 관절의 협응적 관계는 양하지 지지기가 유각기, 단하지 지지기 보다 먼저 발달 된다.
11. 5세가 되어도 모든 운동면에서의 운동 범위는 아주 달라 5세가 되어도 성인과 같은 제어를 하지 못함을 알 수 있다.
12. 각도-각도 도면으로부터 관절 사이의 결속 곡선, 결속 직선, 비결속 직선, 전환점 동조의 관계를 찾아 볼 수 있었다.
13. 움직임 범위와 타이밍으로 제어의 질적 분석을 할 수 있다.

2. 보행 전략

어린이는 성인과 비교할 때 근육, 관절, 뼈 등이 성장 과정에 있어 성인과 같은 보행을 한다는 것은 어려운 것이다. 그러나 신체적으로 덜 성숙된 상황임에도 불구하고 어린이는 뒤뚱거리지만 넘어 지지 않고 걸을 수 있다. 이러한 어린이 특유의 보행 전략은 어떤 것일까?

각도 각도 도면을 통한 결과를 비디오 촬영 자료를 참고로 하여 정리한 결과 유아보행의 특성 및 전략을 성인과 비교하여 정리하면 <표 1>과 같다.

표 1. 성인과 어린이 보행 전략 비교

	무게중심 이동	중력의 영향으로 떨어지기	감속, 제동 (정지와 균형 잡기)	가속, 추진 (뒤로 밀기)
성인	엉덩이 관절을 굴곡시킨다(무릎을 들어 올린다).	부드럽게 흔들다(swing)	지면에 닿기(contact)(발뒤꿈치 ~ 앞꿈치로)	발목 관절의 저굴
어린이	무릎을 들어 올린다 + 머리를 앞으로 빼고 몸을 앞으로 기울인다.	중력방향으로 떨어뜨린다(falling).	갑자기 지면과 부딪히기(catching)(발바닥 전체, push downward)	엉덩이와 무릎 관절의 신전

걷는 것은 무게 중심점을 끊임없이 앞으로 들 때 가능하다. 일반적으로 걷기의 과정은 첫째, 무게 중심을 몸 앞에 두는 단계. 둘째, 중력의 영향 때문에 떨어지는 단계, 셋째, 넘어지지 않기 위해 지면을 잡고 아래로 미는 단계, 마지막으로 이동을 위해 지면을 뒤로 미는 4단계로 설명할 수 있을 것이다.

1) 어린이 보행 전략

어린이는 발이 지면에 닿는 순간의 초기 양하지 지지기에 먼저 균형을 잡고, 다음 단하지 지지기에는 반대 발 무릎을 들어올려 무게 중심의 위치를 들어올리고, 들어 올린 무릎을 내려놓으면서 머리와 상체를 앞 방향으로 떨어뜨리면서 이동하고, 발로 바닥을 움켜쥐는 단계를 갖는다.

- a) 무게 중심 이동하기(Shift in Center of Gravity): 보행 주기의 마지막에 어린이는 엉덩 관절을 굴곡하여 전진 운동을 시작한다. 비디오 촬영을 통해 보면 어린이는 이때 상체와 머리를 몸의 앞에 두어 무게 중심을 앞으로 두는데 일조한다.
- b) 중력 이용(Generating Gravitational Force(falling)): 무게 중심이 앞으로 가해지면서 어린이는 중력에 의해 다리를 떨어뜨린다. 다리를 떨어뜨리면서 넘어지지 않기 위해 어린이는 다리를 구부린다.
- c) 감속(Deceleration): 발이 지면에 닿는 순간 어린이는 중력을 조절하기 힘들고, 발목 관절과 중족골의 운동이 덜 발달되어 발뒤꿈치부터 서서히 닿지 못하고 발바닥 전체로 갑자기 지면과 부딪힌다. 넘어지지 않고 균형을 잡기위해 다리를 구부린 상태로 있다.
- d) 안정과 가속(Stabilization and Acceleration): 단하지 지지기에서 한 다리로 균형을 잡는 동안 다른 쪽 다리는 구부린다. 다른 쪽 다리가 지면에 닿기 전에 지지하고 있던 다리의 엉덩 관절과 무릎 관절은 신전하여 추진력을 얻는다.

2) 성인의 보행 전략

성인은 어린이와 다른 운동 전략을 가진다.

- a) 무게 중심이동하기(Shift in Center of Gravity): 엉덩 관절을 굴곡하여 무게 중심을 이동시킨다.
- b) 중력 이용(Generating Gravitational Force): 성인은 다리를 부드럽게 흔들어 이동 시켜 전진하는 모멘트를 조절한다.
- c) 감속(Deceleration): 성인은 발 뒤꿈치를 이용하여 지면에 부드럽게 부딪히고 발앞꿈치로 이동해 가면서 서서히 감속한다. 이 움직임은 다른 다리의 부드러운 가속을 유발한다.
- d) 가속(Acceleration): 발바닥의 저굴 운동으로 발앞꿈치로 지면을 뒤로 부드럽게 밀어 내면서 전진을 위한 가속을 얻는다.

3) 어린이와 성인의 보행 전략 분석

어린이와 성인 보행의 현격한 차이는 발목관절의 저굴 운동이다. 어린이는 발목 관절의 저굴 능력이 충분치 않아 단하지 지지기에 엉덩 관절과 무릎 관절을 신전시켜 부족한 저굴 운동을 보상하려고 한다. 이러한 현상은 5세까지도 지속되고 있다. 이러한 어린이의 엉덩 관절의 신전 운동은 전진을 위한 가속을 유발한다.

비록 어린이의 보행이 성인과 같지 않다하더라도 어린이가 넘어지지 않고 성공적인 보행을 했다면 어린이는 어린이의 신체 발달 상황에 맞는 자신의 고유한 협응 전략이 있다고 말 할 수 있을 것이다. 그것은 발목 관절의 배저굴 운동 능력이 부족한 어린이가 엉덩 관절과 무릎 관절의 신전으로 보상하려고 했다는 증거로 볼 수 있다. 어린이가 성인과 같은 협응 관계를 갖지 않았다고 해서 협응이 잘 안된 것이라고 말할 수는 없으며, 단지 성인과 다른 협응 관계를 갖는 것이라고 말 할 수 있을 것이다.

3. 각도-각도 도면을 통해 본 협응과 제어 해석의 논의

관절, 근육이 성숙, 발달되지 않았으면 똑같은 협응과 제어를 할 수 없을까? 협응과 제어는 독립적일까 아니면 종속적일까? 각도-각도 도면으로는 협응과 제어를 어느 정도 설명할 수 있을까?

본 연구에서는 각도-각도 도면의 형태를 가지고 두 관절 내 협응적 관계를 설명하였다. 그러나 형태만을 가지고 협응 관계를 설명하는 것은 아래의 이유로 하여 설명력이 떨어짐을 알 수 있다.

1) 유형(Pattern)

이 연구는 성인과 어린이의 협응 관계를 분석하기 위해 각도-각도 도면 유형을 비교하였다. 이때 성인의 각도-각도 도면 유형이 협응 관계를 나타내는 기준으로 사용되었다. 어린이의 각도-각도 유형이 성인과 다르면 성인과 다른 협응 관계를 가진다고 보았다.

2) 방향(Direction)

그러나 각도-각도 도면의 모양이 같아도 방향이 다를 수 있다. 이것은 2세 어린이와 성인에게서, 시상면의 무릎과 발목 관절의 각도-각도 도면에서 볼 수 있다.

3) 미세 차이(Minor Deviations)

또한 매우 짧은 시간 동안의 미세한 차이도 협응과 제어의 차이라고 볼 수 있을 것이다.

예를 들어 시상면에서 엉덩 관절과 발목 관절 내의 관계는 3세에 성인과 비슷한 형태를 보인다. 그러나 구간별로 자세히 보면 5세가 되어도 4구간 마지막에 발목 관절의 저굴이 나타나지 않아 물

고기 지느러미와 같은 형태가 보이지 않는다. 이것은 5세가 되어도 성인과 같은 움직임은 하지 못한다는 것을 알 수 있는 증거이다. 이러한 차이는 매우 미세한 것이나 협응의 정도나 제어관점에 해석해 볼 수 있는 자료가 될 수 있을 것이다.

이상의 각도-각도 도면의 평가로부터 다음과 같은 논의를 할 수 있다.

1. 각도-각도 도면의 전체적인 모양만으로는 협응적 관계를 충분히 설명할 수 없다.
2. 구간별로 나누어 협응적 관계를 보면 좀더 세부적인 발달 과정을 설명할 수 있다.
3. 각도-각도 도면의 모양이 비슷하다고 협응적 관계가 다 비슷한 것은 아니다.
4. 도면의 모양이 비슷하지만 운동의 방향(신전, 굴곡)이 다를 수 있다. 운동의 방향도 중요한 요인이 될 수 있다.
5. 도면의 모양과 방향이 비슷하면 협응이 이루어 졌다고 볼 수 있다.
6. 두 관절 내 각도의 차이, 움직임 범위의 차이는 제어로 설명할 수 있을 것이다.
7. 도면의 모양은 비슷하나 성인과 같은 동작의 타이밍이 나타나지 않는 것은 제어가 안되는 것이라고 말할 수 있을 것이다.
8. 어느 관절의 움직임이 어느 구간, 혹은 어느 순간에 나타나지 않으면 신체적 미성숙 때문에 협응과 제어가 안되는 것이라고 말할 수 있을 것이다.

4. 각도-각도 도면을 통해 본 제어 변인의 평가

현재 제어를 보는 방법 중의 하나는 위상각 궤적(phase angle trajectory)을 보는 질적 연구(Magill, R. A. (1993) ; Clark, 1995)와 두 관절간(내) 교차상관관계(cross correlation)를 보는 양적 연구(Caldwell, G. E., & Clark, J. E., 1990)가 있다. 신체 관절 내(간) 각도의 상관은 관절간 결속(coupling)과 해제(release)를 나타내는 속박의 정도이다.

그러나 본 연구에서는 보행을 4주기로 구분하여 두 관절 내의 관계를 살펴본 결과 결속 곡선, 결속 직선, 비결속 직선의 양과 음의 방향으로의 12 관계로 요약할 수 있었다. 교차 상관 계수를 가지고 해석하는 것에 따르면 결국 결속 직선의 관계일 때만 결속과 해제가 잘 되었다고 볼 수 있을 것이다. 그 이외에 다른 결속 곡선 관계나 비결속 직선 관계는 상관 계수가 낮을 것이다. 그러나 어떤 움직임은 한 관절의 움직임은 거의 변화가 없으나 다른 관절은 움직이는 비결속 관계도 있을 수 있다. 이러한 협응적 관계는 상관계수는 매우 낮을 것이나 이것 역시 매우 잘 된 협응적 관계일 수 있다. 그 예는 보행 주기동안 무릎관절과 발목 관절 내의 관계로 제 4구간에 있다. 이러한 협응적 관계는 1세부터 잘 이루어지고 있다.

또 다른 예로 제어가 잘 되어 있다고 가정할 수 있는 정상 성인의 보행 주기의 구간별 관계를 보면 결속 곡선, 비결속 직선 관계도 엄연히 존재하므로 구간별로 낮은 상관관계도 존재한다고 설명할 수 있다. 그러므로 상관계수만으로 제어를 설명하는 것은 설명력이 떨어진다고 말할 수 있다. 그러나 본 연

구의 12개의 관계는 각도-각도 도면의 형태, 운동 방향, 움직인 각도의 폭, 두 관절의 각도 변화의 타이밍과 같은 제어 관계도 볼 수 있어 기존의 상관계수보다는 차별화 할 수 있다는 장점을 지닌다.

5. 협응과 제어를 설명하는 각도 각도 도면의 한계

각도 각도 도면을 통해서 단순히 모양과 크기가 같다고 해도 협응과 제어가 잘 되었다고 설명하는 것은 타당성이 낮다고 말 할 수 있다. 왜냐하면 단순히 각도가 같다고 같은 움직임을 했다고는 할 수 없기 때문이다. 운동이란 운동학적 입장에서 본다면 시간에 따른 거리의 변화율, 시간에 따른 속도의 변화율이므로 변화율을 가지고 설명하는 것이 더 타당할 것이다(Enoka,1994).

또한 운동 역학적 변인으로 본다면 시간에 따른 힘의 발생, 시간에 따른 힘의 변화율, 근 수축의 속도 등으로 설명할 수 있을 것이다. 왜냐하면 협응이 단지 어느 분절과 분절과의 관계를 말한다면 그 관계를 좀 더 정교하게 하는 것이 제어이기 때문이다.

그러므로 각속도-각속도 도면 같은 것을 그려 살펴보는 것도 재미있는 운동의 발달 단계를 알아 낼 수 있는 방법이 될 수 있을 것이다.

6. 보행 기술 습득 과정의 고찰

각도-각도 도면을 가지고 어린이 보행 발달 과정을 분석한 결과 보행 기술 습득과정을 협응, 제어, 기술의 관점에서 세 단계로 설명할 수 있겠다. 먼저 각도-각도 도면의 모양이 비슷해지는 단계, 이것을 협응 단계라고 말할 수 있을 것이다. 두 번째는 모양만 비슷한 것이 아니라 크기와 방향도 비슷하고, 나아가 두 관절 내, 간 교차하는 타이밍도 비슷한 단계, 그것을 제어 단계라고 말할 수 있을 것이다. 아마도 마지막 단계는 기술의 단계로 걸으면서 명상도 할 수 있고 장애물이 갑자기 나타났을 때 이에 성공적으로 대처할 수 있는 능력, 나아가 걸음의 형태를 바꿀 수 있는 능력까지를 포함할 것이다. 이러한 관점에서 본다면 어린이 보행 발달 과정은 5세에도 제어 단계로 완전히 발달되지 못하며, 기술의 단계는 더더욱 진입하지 못하고 있다고 말할 수 있다.

참고문헌

장윤희, 양길태, 임송학, 문무성, 이경옥, 김미예 (1998). 유아와 성인의 보행 특성 비교. 대한의용생체공학회 추계학술대회 논문집, 제 20권 제 2호. 86-87.

- Abraham, R., & Shaw, C.(1981). Dynamics: The geometry of behavior, Santa Cruze: Aerial Press.
- Caldwell, G. E., & Clark, J. E (1990). The measurement and Evaluation of skill within the Dynamical Systems Perspective. In J. E. Clark & J. H. Humphrey(Eds.), Advances in motor development research, 3, 165-200.
- Clark, J. E(1995). On Becoming Skillful : Patterns and Constraints. Research Quarterly for Exercise and Sport,66,173-183
- Cordo, P., L. Carlton, L. Bevan, M. Carlton, and G. K. Kerr.(1994). Proprioceptive coordination of movement sequences : role of velocity and position information. J.Neurophysiol. 71:1848-1861.
- Enoka, R. M. (1994). Neuromechanical Basis of Kinesiology(2nd). Illinois : Human Kinetics.
- Grive, D. W. (1968). Gait Patterns and the speed of walking. Biomedical Engineering, 3. 119-122.
- Garfinkel, A.(1983). A mathematics for physiology. American journal of physiology,14,R455-R466.
- Kugler, P. N., Kelso, J. A., & Turvey, M. T. (1980). On the concept of coordinative structures as dissipative structures: I. Theoretical lines of convergence. In G. B. Stelmach & J. Requin (Eds.), Tutorials in motor behavior(pp.3-47). Amsterdam : North-Holland.
- Kugler, P. N., Kelso, J. A., & Turvey, M. T. (1982). On the control and coordination of naturally developing system. In J. A. S. Kelso & J. E. Clark (Eds.), The development of movement control and coordination(pp.5-78). New York : Wiley.
- Magill, R. A (1993). Motor Learning : Concepts and Applications(4th ed.). Wm. C. Brown Communications, Inc.
- Newell, K. M. (1985). Coordination, control, and skill. In: D. Goodman, R. B. Willbe고 & I. M. Franks (Eds.), Differing perspectives in motor learning, memory, and control (pp.295-317). Amsterdam: North-Holland.
- Whittle, Michael W.(1996). Gait Analysis An Introduction, Butterworth, Heinemann.
- Winstein, C. J., & Garfinkel, A. (1989). Qualitative dynamics of disordered human locomotion: A Preliminary investigation. Journal of motor Behavior, 21, 373-391.

투 고 일 : 10월 27일

심 사 일 : 11월 4일

심사완료일 : 12월 3일