

## 다운증후군 아동의 트레드밀 보행에 대한 운동학적 분석

오성근<sup>1</sup>, 이재훈<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한국체육대학교 운동건강관리학과, <sup>2</sup>나사렛대학교 재활스포츠연구소

### A Kinematic analysis on the treadmill gait of children with Down Syndrome

Seong-Geun Oh<sup>1</sup> and Jae-Hoon Yi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Health and Exercise Science, Korean National Sports University

<sup>2</sup>Adapted Physical Activity Laboratory, Korea Nazarene University

**요 약** 본 연구에서는 선천적으로 관절 느슨함과 낮은 근 장력을 갖고 있는 다운증후군아동 보행의 운동학적 특성을 알아보고자 한다. 특히 자료수집의 편리성과 재현성이 높고, 유용한 보행훈련도구로서 그 사용이 증가되는 추세인 트레드밀에서 보행을 실시하였다. 다른 중복지장애가 없는 다운증후군 남자아동 10명을 대상으로 적외선카메라로 3차원 보행 자료를 수집하여 시공간적 변인과 운동학적 변인을 산출하여 이들의 보행특성을 분석하였다. 그 결과, 다운증후군아동들은 선천적인 근골격계 특성으로 인한 보행불안정성을 극복하기 위해 엉덩, 무릎, 발목관절 모두를 구부리고 걷는 구부정 걸음(crouch gait)형태를 보였으며, 모든 다리관절의 신전을 작게 하여 결과적으로 추진력이 자제하였다. 이는 더 크게 신체를 추진할수록 발뒤꿈치 착지 시에 체중수용의 부담이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 이 연구 결과는 다운증후군의 관절불안정성을 개선하기 위해 효과적인 근 골격계 강화훈련 프로그램을 마련하는데 유용한 자료를 제공할 것으로 기대되며, 다운증후군뿐만 아니라 선천적 또는 후천적 근골격계 장애를 개선하거나 극복할 수 있는 운동프로그램 개발에도 참고 자료가 될 것으로 예상된다.

**Abstract** The purpose of this study is to analyze the kinematic characteristics of children with Down syndrome got congenitally joint laxity and muscle hypotonic. The subjects are boys with Down syndrome and don't have the other disabilities. We got three dimensional position data and then calculated spatiotemporal and kinematic variables during walking on treadmill used increasingly for gait analysis and training. In result, in order to overcome their gait instability due to their musculoskeletal characteristics they walked with hip, knee and ankle joints more flexed than the typical gait pattern, and on the propulsion phase they extend the lower limb joints less than the typical, result in propel the body less than. The reason is that the more is the propulsion by extending the joints, the greater is the reaction force from the ground on heel contact. This result is expected to be used to develop the training program for intensification of musculoskeletal system aim to improve the other musculoskeletal disabilities as well as Down syndrome.

**Key Words** : Down Syndrome, Gait, Treadmill, kinematic, Children

#### 1. 서론

인간의 삶의 질을 높이는데 신체활동과 사회활동에 참여하는 것은 매우 중요하다. 이를 위해서는 독립적인 신

체 이동능력 즉, 보행능력이 우선적으로 필요하다. 선천적이든 후천적이든 신체이동능력에 장애가 생길 경우 그렇지 않은 경우 보다 빠른 속도로 노화가 진행되어 조기에 죽음에 이르게 된다. 따라서 독자적 신체이동능력을

\*교신저자 : 이재훈(eddyfox7@hotmail.com)

접수일 11년 07월 04일

수정일 11년 09월 06일

게재확정일 11년 09월 08일

향상시키는 것은 삶의 만족도를 높일 뿐만 아니라 건강 수명을 연장하여 성공적 노화에 이르는 필수 조건이다. 또한, 보행이 성장발육, 근 골격계 강화, 심혈관계 기능 개선 및 치료와 재활에 효과적이면서도 간편한 수단이라는 인식이 널리 확산되면서, 현대인의 건강유지수단으로 그 중요성이 더욱 부각되고 있다.

따라서 연구자들은 다양한 대상의 보행특성을 연구하고 있는데, 비장애인의 보행특성 연구뿐만 아니라, 노인, 뇌병변, 신경정형외과적, 또는 지적장애인 등의 보행특성에 대한 연구도 여러 각도에서 활발히 연구되고 있다. 이들 대상들은 보행의 안정성이 저하되어 낙상이나 관절상해 위험이 증가되게 되는데, 이를 피하기 위해 보행 안정성을 회복할 수 있도록 보행 전략을 변경하는 것으로 나타났다.[1-3]

반면, 신체장애로 인한 비정상 보행특성에 대한 연구 결과에 비하여 지적장애인들의 보행특성에 관한 연구는 상대적으로 아주 미비하여 지적장애로 인해 보행특성에 어떠한 변화가 초래되는지 알려지지 않았다. 이들 지적장애인 중에서 21번 염색체에 이상으로 인한 다운증후군의 경우는 여타의 비정상보행특성을 보이는 대상과 신체적으로 특이한 차이점을 갖고 있는데, 관절의 느슨함(joint laxity)과 낮은 수동 근 장력(muscle hypotonia)이 바로 그것이다. 이러한 선천적 특이성 때문에 관절가동범위가 크며, 관절강성(joint stiffness)이 낮다.[4,5] 또한, 외력에 저항하는 수동 근장력이 낮은 뿐 아니라, 외부에 힘을 가하는 능동적 근수축력 또한 작으며, 관절수용기, 골지진기관, 근방추 등이 갖고 있는 고유수용성감각(proprioception)이 둔해 반응속도가 느려 상해위험이 높다.[4,5]

또한, 비장애 유아들이 9 ~ 15개월이면 걸음마를 습득하는데 비해 다운증후군 유아들은 이러한 근 골격계 특성으로 인해 약 12 ~ 18개월 정도 더 늦게 걸음마를 습득하게 되며,[6,7] 그 후에도 비전형적 보행패턴을 나타낸다. 이는 운동발달 지연으로 이어져 근골격계의 기능저하를 초래하는 악순환이 계속된다.[4,8]

다운증후군 보행의 시공간적(spatiotemporal) 특성에 대한 선행연구를 살펴보면, 보행속도가 느리며, 걸음수가 많고 활보길이(stride length)가 짧은 총충걸음이고, 좌우 보폭(stride width)이 큰 뒤뚱 걸음이고, 유각기시간비율(% swing time)보다 지지시간비율(% stance time)이 높다. 이러한 보행특성에 대해 다운증후군의 선천적 특성인 관절의 느슨함(joint laxity), 낮은 근 장력(muscle hypotonia), 느린 반응속도, 낮은 고유수용성감각, 그리고 비만 등을 잠재적인 원인으로 보고 있다.[2,9] 또한, 이러한 보행특성은 에너지 비효율성을 감수하더라도 보행의 안전성을 확보하기 위한 전략으로 여겨지고 있다.[2,10]

한편, 다운증후군 아동들의 운동학적 보행특성에 관한 선행연구결과에 따르면, 비장애인에 비해 엉덩관절과 무릎관절을 더 굽힌 채 보행하며, 발뒤꿈치로 착지하지 않고 발바닥으로 착지하고, 유각기에 과도하게 다리 관절을 벌리는 것으로 보고되었다.[8] 또한, 상체를 숙이고 걷는 특성을 보이고, 다운증후군 아동보다 청소년에서 이러한 경향이 더 뚜렷했으며,[11,12] 비장애인보다 발목관절가동범위가 작았다.[12]

다운증후군 아동은 650~1000명의 1명꼴로 태어나고, 산모의 나이가 35세 이상이면 290명중 1명, 40세 이상이면 150명중 1명, 45세 이상이면 20명 중 1명꼴로 다운증후군이 태어난다.[13-16] 현대사회에서 결혼연령이 늦어져 산모의 연령이 점점 높아지는 경향이 있으며, 낙태에 대한 비윤리적 가치관으로 인해 이들의 출생률이 줄어들지 않을 것으로 예상된다. 그럼에도 불구하고 이들의 보행특성에 대한 다각적인 연구가 매우 부족한 실정이다. 또한, 다운증후군 아동들은 선천적으로 심장기형, 호흡기 질환, 백혈병, 시각장애(백내장, 근시, 원시 등), 발달장애, 면역성 질환, 지적장애를 갖고 태어날 확률이 높기 때문에 중복장애의 정도에 따라 그 특성이 매우 달라질 수 있다.

트레드밀을 이용한 보행실험은 촬영범위가 작아 소수의 촬영기기로도 보다 정확한 자료를 획득할 수 있고, 보행속도를 통제하기 쉬우며, 보행 자료들 간의 연속성과 이동이 불편한 부속장비(EMG, 가스분석기 등)착용의 편리성 때문에 그 사용이 늘어나고 있는 추세이며, 달리기와 같은 고속보행으로 인한 공기저항의 차이를 제외한다면, 지면보행과 트레드밀보행의 차이는 미미해서 상호 비교가 가능하다고 보고된 바 있다.[17] 또한 보행훈련에도 편리성이 적지 않으며, 특히 독립보행이 불가능하거나 가능하더라도 스스로 의지로 보행훈련의 일정한동량을 지속적으로 수행하기 어려운 지적장애인의 보행훈련에 트레드밀은 매우 유용한 도구이다.

따라서 본 연구에서는 중복장애로 인한 영향을 배제하기 위해 중복장애를 갖고 있지 않은 다운증후군 남자아동들을 대상으로 하였으며, 실험실에서 행해지는 불연속적 보행으로 인한 편차를 줄이고 재현성이 높은 자료를 얻기 위해 트레드밀 보행을 실시하여 시공간적 변인(보행속도, 국면별 소요시간, 보폭, 좌우보폭, 걸음수 등)과 운동학적 변인(관절각, 관절각속도, 관절각가속도 및 기타 신체분절각 등)을 산출하고, 이를 정량적으로 분석하여 다운증후군 아동의 보행특성을 알아보고자 한다. 그 결과는 상대적으로 운동량이 매우 부족하여 신체발육, 체중조절, 건강유지 등이 어려운 다운증후군 아동들의 운동 프로그램 개발에 유용한 참고자료로 사용될 것으로 기대된다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구대상

본 연구의 대상자는 수도권에 거주하는 다운증후군 남자아동들 중에서 부모나 특수교사의 신체적 도움 없이 독립보행인 가능하고 신체적 중복장애 또는 최근 1년 동안 신경정형외과적 손상이나 수술경험이 없는 아동들로 한정하여 모집하였으며, 그 신체적 특성은 표 1과 같다.

[표 1] 연구 대상자 신체 특성  
[Table 1] Summary of anthropometric data for Subjects

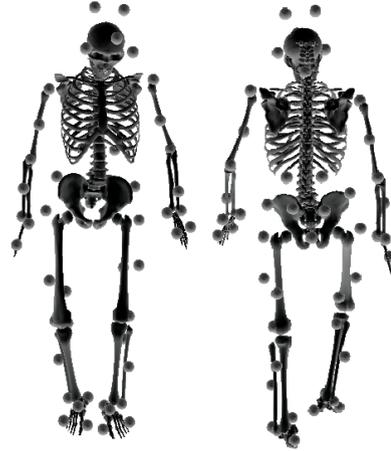
Subject	height(cm)	weight(kg)	age(yrs)
A	133.0	33.0	10
B	123.4	28.0	10
C	152.1	45.1	11
D	115.7	23.8	7
E	142.1	37.8	10
F	114.7	23.8	7
G	127.0	24.0	9
H	137.0	33.9	10
I	110.0	18.5	7
J	116.0	21.2	7
M ± SD	127.1±13.7	28.9±8.4	8.8±1.6

### 2.2 실험도구 및 절차

본 연구 목적을 수행하기 위하여 3차원 동작분석이 실시되었다. 영상자료 수집을 위해 트레드밀 주변에 Qualisys사의 적외선 카메라 (Motion capture system인 Pro Reflex MCU 240, SF: 100 frame/sec) 8대가 사용되었다. 동작이 행해지는 구간은 NLT (Nonlinear Transformation)방법을 이용하여 calibration 되었으며, 각 기기들의 동조는 메인 컴퓨터에 의해 통제되었다.

실험 전 모든 대상자들에게 맨몸에 짧은 반바지 타이즈와 모자만을 착용 시킨 후 전신의 관절점 및 분절 표면에 총 51개의 반사마커를 부착하고 보행 측정에 앞서 각 대상자의 신체 해부학적 상태를 고려한 자료 산출과 관절마커와 추적마커의 관계 규정을 위해 해부학적 자세로서 standing calibration을 실시한 후, 그림 1과 같이 분절의 위치추적을 위한 47개의 추적마커(tracking marker)를 제외하고 모두 제거한 후, 실험에 앞서 충분한 연습 후 본 실험을 실시하였다. 전역좌표계의 z축을 수직방향으로, 보행 방향을 y축으로 설정하고, 대상자의 오른쪽 방향을 x축을 설정하였다. 이때 보행 속도는 대상자가 선

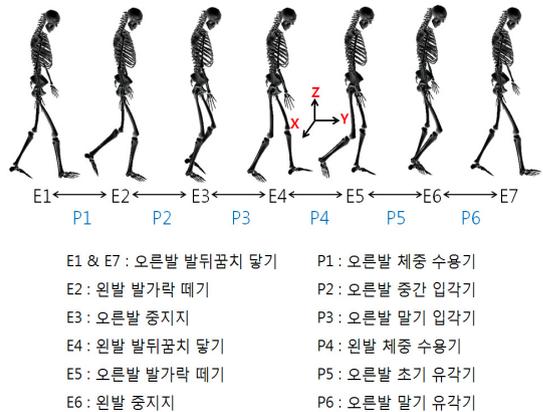
호하는 속도(self-selected speed)로 실시하였으며, 획득된 원자료는 오른발의 뒤꿈치가 지면에 닿는 시점부터 발가락이 지면에서 떨어지고 다음 번 닿는 순간까지를 1주기(one stride)로 하여 처음과 끝의 3 걸음씩은 제외하였다.



[그림 1] 반사마커 부착 사진.  
[Fig. 1] Joint and tracking markers.

### 2.3 자료 처리

다운증후군 아동의 보행분석을 위한 위치데이터는 Qualisys Track Manager 프로그램과 Visual 3D 프로그램을 사용하여 수집되고 처리되었다.



[그림 2] 이벤트 및 국면 정의  
[Fig. 2] Events and phases

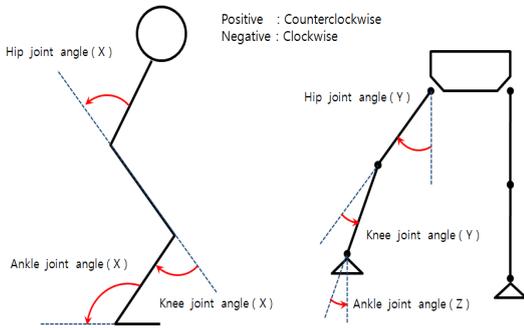
#### 1) 분석구간

본 연구에서는 보행 시 이벤트와 국면은 그림 2에 나타난 바와 같이 설정하였다. 각 이벤트 시점은 적외선카메라로 추적된 마커의 위치데이터를 기준으로 지정하였

으며, 발뒤꿈치 추적마크의 y좌표가 극대값일 때를 발뒤꿈치 닿는 시점(E1, E4, E7)으로 지정하였고, 발가락추적마크의 y좌표가 극소값일 때를 발가락 떼는 시점(E2, E5)으로 지정하였으며, 두 발뒤꿈치 마커가 가장 근접했을 때를 중지시기(E3, E6)로 지정하였다.

2) 분석 변인

본 연구에서 산출한 변인들은 시공간적 변인(보행속도, 국면별 소요시간, 보폭, 좌우보폭, 걸음수 등 시공간 변인들과 다리 관절(엉덩, 무릎, 발목)의 각도, 각속도, 각가속도 및 가동범위, 신체분절(몸통, 골반 및 발)각 등 운동학적 변인들이다. 다리 관절각은 근위분절에 대한 해당 분절의 Cardan 각으로 정의하며, 시상면과 전두면에서 나타난 하지 관절각을 그림으로 나타내면 그림 3과 같다.



[그림 3] 다리 관절각. [Fig. 3] Lower limb joint angles.

실험에서 생성될 수 있는 Random Error를 제거하기 위하여 산출된 변인들을 Butterworth 4차 저역필터 (차단 주파수 6Hz)를 사용하여 필터링하였다.

3. 결과

3.1 시공간 변인

다운증후군 아동보행의 시공간 변인들 중 걸음수 (cadence)와 소요시간을 제외한 시공간 변인들은 대상자의 키로 표준화시켰으며, 그 결과는 표 2와 같다. 다운증후군아동들은 유각기(P5~P6) 소요시간이 34.5%로 일반적인 경우(40%)보다 짧았고, 지지기 소요시간은 더 긴 것으로 나타났다. 특히, 체중수용기(P1)가 15%로 일반적인 경우(10%)보다 5% 정도 길게 나타났다.

[표 2] 시공간 변인 [Table 2] Spatiotemporal variables

시공간변인			국면	소요시간(%)	
	M	SD		M	SD
speed ( %height/s )	53.1	6.7	P1	15.0	2.3
step length ( %height )	24.5	3.3	P2~P3	34.3	2.0
stride width ( %height )	14.2	2.6	P4	15.5	1.7
cadence ( /min )	66.16	9.05	P5~P6	34.9	1.6

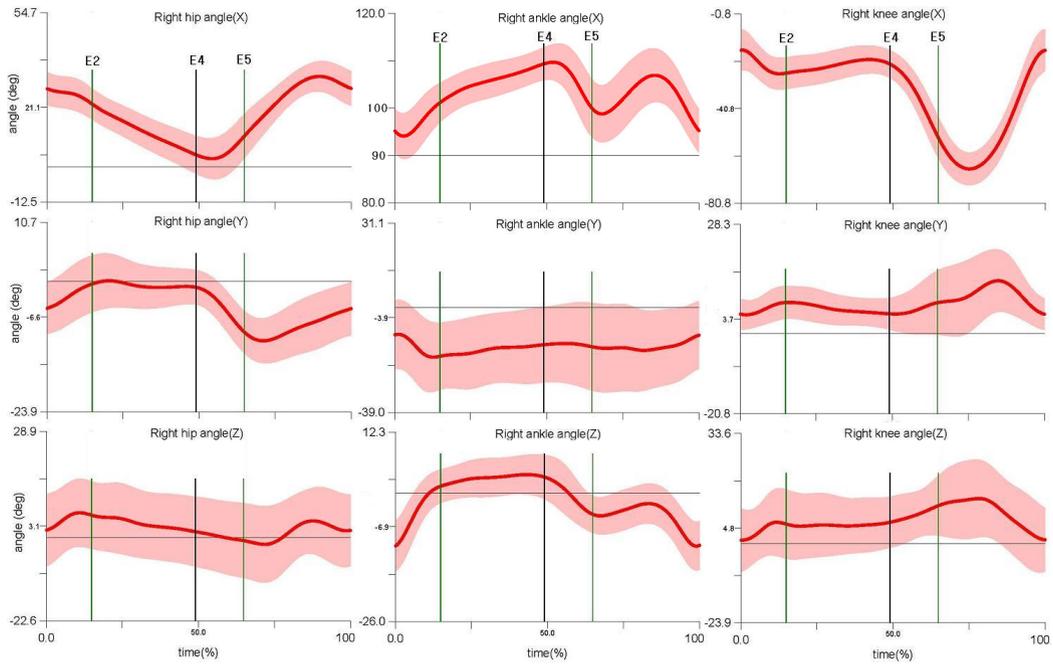
3.2 다리 관절각도

보행주기 동안 엉덩관절 굽힘/펴각의 변화를 살펴보면 (그림 4, 표 3과 표 4), 다운증후군 아동들은 발뒤꿈치 닿기(E1) 직후 엉덩관절이 28.5°로 굽혀지며, 발가락 떼기 전(P4)에 2.2°까지 최대로 퍼졌다가 발가락 뗄 때(E5) 10.7°가 되는 것으로 나타나 엉덩관절 가동범위가 28.5° ~ 2.2°로 전방추진기에 비교적 엉덩관절을 덜 펴는 것으로 나타났다.

무릎관절의 굽힘/펴각의 변화를 살펴보면, 다운증후군 아동들은 -16.1°에서 발뒤꿈치 닿기(E1)를 해서 입각기 동안 -26.7°까지 굽혀졌다가 -22.3°로 최대로 퍼진 다음 유각기 중반에 -67.1°까지 굽혀지는 것으로 나타났다.

무릎관절 모음/별림 각의 경우는 다운증후군 아동들은 오른발 입각기에는 8.3°까지 모으고, 유각기에는 15°까지 모으는 것으로 나타나 보행주기 내내 모음상태를 유지하는 것으로 나타났다.

발목관절 굽힘/펴각을 살펴보면, 다운증후군 아동들은 발뒤꿈치 닿기(E1)를 95.2°로 즉 발목관절을 약간 굽힌 채로 착지하고, 93.2°로 약간 폈다가 입각기 동안 120°까지 굽혔다가 발가락 떼기(E5) 에 99.5°로 발등을 최대로 펴게 되는데, 이는 체중수용기보다 약 6° 정도 발등을 덜 펴는 것으로 나타났다. 발목 옆침(eversion)/뒤침각(inversion)각의 경우 다운증후군 아동들은 발뒤꿈치 닿기 (E1)할 때 -10.7°로 발을 뒤쳤다가 단지지기에 5°로 옆침 후 발가락 떼기(E5)에 -5°로 뒤치는 것으로 나타났다. 특히, 체중수용기(P1)에 옆침/뒤침각범위가 -10.8° ~ 1.4°로 나타나 착지 시 발목관절 뒤침이 큰 것으로 나타났다. 이렇게 지지기 옆침/뒤침각 범위가 -11.4° ~ 5°로 나타난 것은 발목관절의 좌우 요동이 상당히 크다는 것을 의미한다.



[그림 4] 다리 관절각(엉덩, 발목, 무릎); X: 굽힘/펼, Y: 모음/별립, Z: 내/외회침(발목:엃침/뒤침)  
 [Fig. 4] Hip, knee and ankle 3D angles(X: flexion/extension, Y: adduction/abduction, Z: rotation(or eversion/inversion for ankle).

[표 3] 이벤트별 다리 관절각 (단위: °)  
 [Table 3] Lower limb joint angles at events (unit: °)

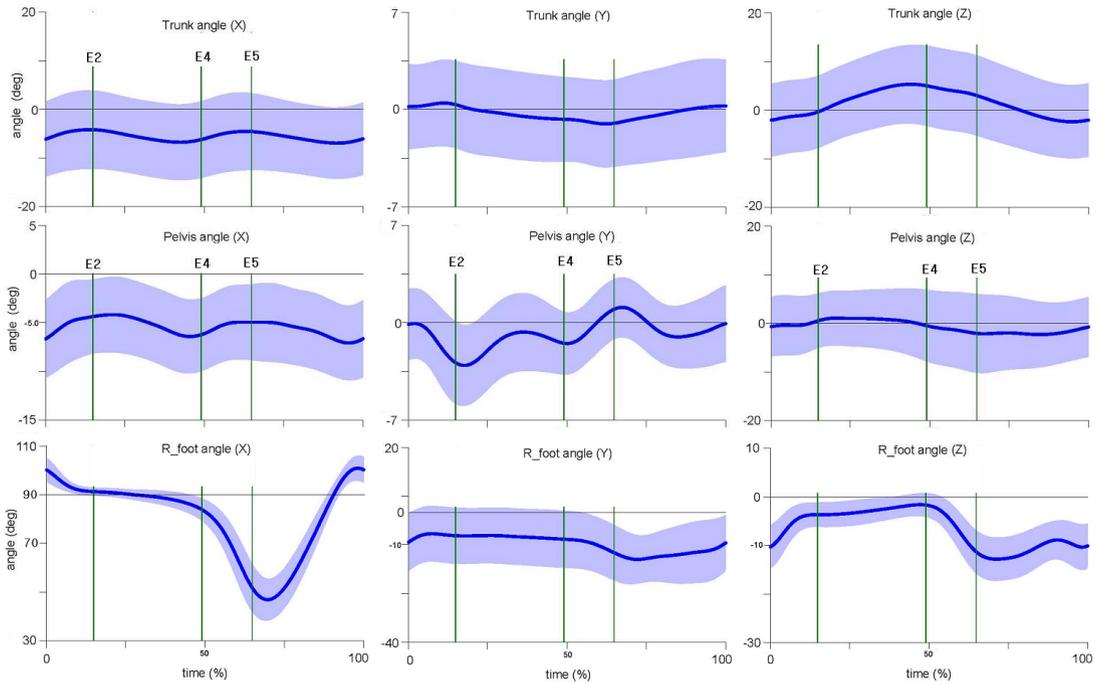
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	
( )	오오오	M	28.0	22.8	11.8	4.4	10.7	29.4
		SD	6.2	5.9	5.7	6.9	8.4	5.1
	뒤뒤뒤	M	-16.1	-25.8	-21.8	-22.3	-53.2	-59.1
		SD	8.8	7.0	6.3	6.4	7.0	7.9
	뒤뒤뒤	M	95.2	100.7	106.0	109.1	99.5	106.7
		SD	4.6	4.8	3.7	3.6	6.0	5.7
( )	오오오	M	-5.1	-0.7	-1.3	-1.2	-9.2	-8.7
		SD	4.9	5.4	4.5	3.5	3.8	4.8
	뒤뒤뒤	M	5.0	8.0	6.0	5.1	8.1	13.2
		SD	4.0	4.3	3.9	4.2	8.3	8.8
	뒤뒤뒤	M	-10.1	-18.4	-14.8	-13.5	-14.5	-15.7
		SD	12.7	12.5	13.2	14.2	16.4	14.9
( )	오오오	M	2.0	6.3	3.1	1.3	-0.8	3.1
		SD	9.8	9.0	9.1	9.6	9.9	9.3
	뒤뒤뒤	M	1.1	6.2	5.1	6.5	11.9	11.9
		SD	9.8	10.8	8.7	8.1	9.0	10.8
	뒤뒤뒤	M	-10.7	1.3	3.0	3.0	-5.0	-2.1
		SD	5.1	3.7	3.9	4.4	4.0	4.0

\* 발목관절의 경우 : 뒤침(inversion)/엃침(eversion)

[표 4] 국면별 관절 가동범위(최대/최소) (단위: °)  
 [Table 4] Lower limb joint angle ranges at phases(unit: °)

		P1	P1~P4	P5~P6				
		max	min	max	min	max	min	
( )	오오오	M	28.5	22.6	28.5	2.2	32.5	10.6
		SD	6.1	5.9	6.2	7.0	5.5	8.3
	뒤뒤뒤	M	-15.7	-26.7	-14.2	-53.1	-15.9	-67.1
		SD	8.6	6.9	7.7	7.0	8.9	6.7
	뒤뒤뒤	M	100.9	93.5	110.4	93.1	107.5	94.0
		SD	4.8	4.8	3.8	4.8	5.7	4.5
( )	오오오	M	-0.6	-5.3	1.2	-9.5	-4.4	-11.8
		SD	5.3	5.1	4.3	4.1	4.5	4.4
	뒤뒤뒤	M	8.3	4.3	11.0	1.5	15.0	2.3
		SD	4.3	3.9	4.8	5.2	7.6	6.6
	뒤뒤뒤	M	-9.1	-20.1	-7.8	-20.8	-8.8	-18.4
		SD	12.8	13.1	14.2	13.4	14.0	15.1
( )	오오오	M	7.6	1.6	8.7	-4.1	6.7	-4.8
		SD	9.0	9.8	8.5	9.7	8.6	10.4
	뒤뒤뒤	M	8.6	-0.3	14.5	-0.8	16.9	-0.3
		SD	10.8	8.7	9.2	8.4	10.9	10.0
	뒤뒤뒤	M	1.4	-10.8	5.0	-11.4	-1.0	-11.7
		SD	3.8	5.1	3.9	4.7	3.8	4.7

\* 발목관절의 경우 : 뒤침(inversion)/엃침(eversion)



[그림 5] 신체분절각(몸통, 골반, 오른발); X: 시상면, Y: 전두면, Z: 수평면  
 [Fig. 5] Trunk, pelvis and right foot angle(X: sagittal plane, Y: frontal plane, Z: horizontal plane)

### 3.3 신체 분절각

그림 5는 신체분절(몸통, 골반, 오른발)의 3차원 각을 나타내는데, 보행주기 동안 몸통각(X)의 변화를 살펴보면, 4°~7°정도 앞으로 숙인 채 걸었으며, 발뒤꿈치 닿기(E1, E4) 직전에 최소값을 나타내고, 발가락떼기(E2, E5) 직전에 최대값을 나타냈다. 즉, 상체를 2°정도 숙였다 들었다 요동치면서 보행하는 것으로 나타났다. 몸통각(Y)은 발가락 떼기(E2, E5) 직전에 최대/최소값을 나타냈으며, 그 요동폭은 7°정도였다. 몸통각(Z)은 발뒤꿈치 닿기(E1, E4) 직전에 발과 반대방향으로 가장 크게 회전했다.

골반각(X)의 변화양상도 몸통각(X)과 유사하게 나타났다으며, 4°~7°정도 앞으로 숙인 채 걸었다. 골반각(Y)의 변화를 살펴보면, 발뒤꿈치 닿기(E1)할 때 0°이고, 반대 발가락 떼기(E2) 직후에 3°정도 위로 올라가는 것으로 나타나 보행주기 동안 ±3°정도의 요동치는 것으로 나타났다. 골반각(Z)의 크기는 중지지기(E3, E6)에 가장 크게 나타났으나 그 요동폭은 1.5°정도로 미미했다.

오른발각(X)은 오른발 뒤꿈치 닿기(E1)할 때 지면과 평행상태(90°)보다 큰 100.3°로 착지하는 것으로 나타나 뒤꿈치부터 착지하는 보행형태를 보였다. 또한 오른발각(Y)은 모음(+)/별립(-)각을 나타내는데, 초기 유각기에 최

대로 벌렸다가 단지지기에 -7.2°로 된 후 발가락 떼기(E5) 직전에 다시 벌리기 시작한다.

[표 5] 이벤트별 분절각(발, 골반, 몸통) (단위: °)  
 [Table 5] Right foot, pelvis and trunk angles at events (unit: °)

		E1	E2	E3	E4	E5	E6
발	M	100.3	91.3	89.2	83.6	51.0	69.6
	SD	5.2	1.8	2.9	5.0	7.0	7.3
골반	M	-6.7	-4.4	-5.1	-6.3	-4.8	-5.7
	SD	4.1	3.9	4.0	3.9	4.0	4.0
몸통	M	-6.3	-4.4	-6.2	-6.7	-4.9	-6.4
	SD	7.8	8.2	7.7	8.0	8.0	7.4
발	M	-9.3	-7.2	-7.6	-8.4	-12.4	-13.5
	SD	8.8	8.5	8.6	8.7	8.4	8.8
골반	M	0.0	-2.6	-0.7	-1.5	0.9	-0.9
	SD	2.8	3.0	3.0	2.2	2.2	2.1
몸통	M	0.3	0.4	-0.3	-0.6	-0.9	-0.1
	SD	3.3	3.5	3.3	3.0	3.1	3.4
발	M	-10.2	-3.7	-2.8	-1.8	-11.6	-10.8
	SD	4.7	2.7	2.5	2.6	4.4	4.2
골반	M	-0.7	0.4	1.0	-0.6	-2.3	-2.4
	SD	6.1	5.6	6.1	7.2	8.1	6.8
몸통	M	-2.1	-0.5	4.2	4.9	2.9	-1.0
	SD	7.5	7.7	7.9	8.1	8.0	7.7

#### 4. 논의

비장애인들의 입각기와 유각기 비율이 6 : 4 인데 비해 다운증후군 아동들의 비율은 6.5 : 3.5 로 나타났는데, 이는 체중수용기(P1) 소요시간이 길었고, 반면 유각기 소요시간이 짧았기 때문이다. 이렇게 유각기를 줄이고 체중수용기(두발지지기)를 늘이는 것은 외발로 서있는 불안한 자세를 가능한 피하고, 두발로 서있는 시간을 늘려서 보행시 안정성을 최대한 확보하려는 의도로 보이며, 또한 유각기 시간을 줄인다는 것은 반대발 추진시간을 줄인다는 것으로 보행속도를 줄여 역시 안정성을 도모하는 전략으로 판단된다. 왜냐하면, 체중수용기를 늘이는 것과 보행속도를 줄이는 것 모두 착지 시 충격력을 줄이는 효과가 있기 때문이다. 이는 노인, 뇌병변, 신경정형외과적, 또는 지적장애인 등의 보행특성에서도 공통적으로 나타나는 특성이다.[1-3]

비장애인 보행의 경우 발뒤꿈치가 닿을 때(E1) 엉덩관절이 30°로 굽혀지며, 발가락 떼기 전(P4)에 -10°까지 최대로 퍼졌다가 발가락 뺄 때 0°가 되는 것이 일반적인데 [18], 다운증후군 아동들은 지지기 엉덩관절 가동범위가 28.5° ~ 2.2°로 나타났다. 이는 추진기에 비장애인보다 엉덩관절을 덜 펴는 것을 의미하며, 관절이 느슨하고 근 장력이 낮은 선천적 특성으로 인해 보행속력을 느리게 함으로써 보행안정성을 도모한다는 선행연구결과[2, 9]와 일치한다.

또한, 무릎관절각의 경우도 지지기에 무릎 관절각이 -5° 정도로 발뒤꿈치가 닿고(E1), -20° 가까이 굽혀졌다 지지기 중반에 최대(-4°정도)로 퍼졌다가 다시 굽혀져 유각기에 -60° 가까이 최대로 굽혀지는 것이 비장애 보행에서 일반적이다.[18] 그러나 다운증후군 아동들의 체중수용기(P1) 무릎관절가동범위는 -16.1° ~ -26.7°로 일반적인 경우보다 11°정도 더 굽힌 상태로 착지하는데, 이는 낮은 자세로 인한 안정성 확보함과 동시에 최대 관절토크의 90% 이상을 발휘할 수 있는 무릎관절각의 범위(-10° ~ -60°)[18] 내에서 착지하며 체중을 수용함으로써 낮은 무릎관절강성을 보완하여 보행안정성을 도모하려 것으로 판단된다. 또한, 추진기 무릎관절 가동범위가 -26.7° ~ -22.3°로 일반적인 무릎관절 각보다 18°정도 덜 펴는 것은 무릎관절 신전에 의한 추진을 작게 함으로써 보행속력을 줄이기 위한 보행 전략으로 판단된다. 왜냐하면, 더 크게 다리관절을 신전하여 신체를 추진할수록 발뒤꿈치 착지 시에 체중수용의 부담이 증가하기 때문이다.

한편, 발목관절의 경우 90°-85°에서 즉 발등을 약간 편 상태로 발꿈치 닿기(E1)를 한 후 조금 더 폈다가 입각기 동안 굽혀진 다음 발가락 떼기(E5) 직후에 발등을 최

대로 펴게 되는데, 이때 체중수용기보다 약 10° 정도 더 발등을 펴는 것이 일반적이다.[18] 그런데, 다운증후군 아동들은 약 5° 정도 발목관절을 약간 굽힌 채로 발뒤꿈치 닿기를 한다. 이는 일반적인 경우보다 5~10° 정도 더 발목을 굽힘으로써 발목관절의 구조형상학적 안정성을 유도함과 동시에 발바닥 굽힘근 및 관련 인대들의 장력증가를 도모할 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 보다 안정한 관절상태로 착지하려는 의도로 보인다. 한편, 입각기 동안 20°정도 굽혔다가 9.5° 굽힌 상태까지 최대로 펴게 되는데, 이는 일반적인 경우보다 25° 정도 발등을 덜 펴는 것을 의미한다. 따라서 엉덩관절과 무릎관절의 경우와 마찬가지로 발목관절에 의한 추진도 작게 함으로써 보행속력을 줄이는 보행전략을 선택하는 것으로 판단된다.

발목 옆침(eversion)/뒤침각(inversion)각의 경우 일반 보행에서 발뒤꿈치 닿기(E1)할 때 -2° 정도로 발을 뒤쳤다가 단지지기에 2° 정도로 옆침 후 발가락 떼기(E5) 직전에 최대(-6° 정도)로 뒤치는 것으로 알려졌는데, 다운증후군 아동들은 체중수용기(P1) 발목옆침/뒤침각 가동범위가 -10.8° ~ 1.4°로 나타났다. 이는 발목관절의 좌우 요동이 비장애인들보다 상당히 크다는 것을 의미하며, 다운증후군의 선천적 관절 느슨함 때문인 것으로 판단된다. 착지할 때 발목관절이 가장 먼저 체중수용의 부담을 담당해야 한다는 것을 고려하면, 발목관절의 불안정성은 보행전략 변경에 가장 우선적인 원인 중 하나일 것으로 판단된다.

보행주기 동안 다운증후군 아동들은 전후로는 4°~7° 정도 상체(몸통과 골반)를 약간 숙인 채 몸통을 전후로는 약 3° 정도, 좌우로는 약 7° 정도 발을 내딛고 모으는 주기에 맞춰 요동치며 걷는 것으로 나타났는데, 이는 상체의 무게중심을 이용해 추진력을 보태는 전략으로 사료되나, 그 요동폭이 미미한 것으로 보아 추진력 발휘에 대한 기여는 크지 않은 것으로 보이며, 약간 앞쪽으로 무게중심을 위치시켜 뒤로 넘어지는 것을 방지하려는 의도로 추측된다.

오른발각(X)은 오른발 뒤꿈치 닿기(E1)할 때 지면과 평행상태(90°)보다 큰 100.3°로 착지하는 것으로 나타나 뒤꿈치부터 착지하는 보행형태를 보였다. 게다가 비장애인 보다 무릎을 더 굽혀 착지하기 때문에 발바닥 착지가 자연스러울 수 있으나 오히려 발목을 더 굽혀 발뒤꿈치로 착지한 것은 발목관절 및 주변 연부조직의 구조형상학적 안정성을 피하려는 의도로 판단된다. 이는 다운증후군 아동들은 발뒤꿈치로 착지하지 않고 발바닥으로 착지를 한다고 보고한 Parker 등(1986)의 연구결과와 상이한 결과라 할 수 있다. 그러나 이는 비장애보행의 착지각이

110~115° 정도라는 점과 다운증후군 아동의 중복장애 정도가 다양하다는 것, 그리고 선행연구자들이 사용한 측정법의 오차가 현재보다 크다는 것을 고려하면, 가능한 차이이라고 생각되며, 앞으로 연구자들이 주의 깊게 살펴볼 필요가 있다.

## 5. 결론

다운증후군 아동의 트레드밀 보행 특성을 알아보고자 시공간변인, 운동학적 변인을 산출하여 분석하였고, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 일반적인 입각기와 유각기 비율이 6 : 4 에 비해 두발지지가 길고, 유각기가 짧은 6.5 : 3.5 로 나타났는데, 이는 보행안정성을 확보하기 위한 전형적인 전략이다.

둘째, 말기 입각기에 엉덩, 무릎, 발목관절 모두 신전을 적게 하는 것으로 나타나 이들의 의한 추진력이 비교적 작았다.

셋째, 착지 할 때 엉덩관절각은 비장애보행과 비슷했으나 무릎과 발목관절은 더 굽힌 상태로 착지함으로써 구부정걸음 형태를 보였다.

넷째, 지면과 10°정도의 착지각으로 발뒤꿈치로 착지하는 보행형태를 보였다.

다섯째, 발목 옆침/뒤침각 가동범위가 -10.8° ~ 1.4°로 나타나 발목관절의 좌우 요동이 일반적인 경우보다 크게 나타났다.

위와 같은 결과를 종합하면, 다운증후군아동들은 선천적으로 느슨한 관절과 낮은 근 장력으로 인해 보행안정성이 위협받는다. 이를 극복하기 위해 엉덩, 무릎, 발목관절 모두를 구부리고 걷는 구부정 걸음(crouch gait)형태를 취한다. 이는 자세를 낮춰 안정성을 도모할 뿐만 아니라 가능한 큰 관절토크를 생산할 수 있는 다리 관절각범위에서 보행함으로써 관절의 안정화와 수동 및 능동 근 장력을 증가시키려는 전략으로 보인다.

또한 모든 다리관절의 신전을 작게 하여 결과적으로 추진력이 작은 것을 의미한다. 이는 더 크게 신체를 추진할수록 발뒤꿈치 착지 시에 체중수용의 부담이 증가하기 때문에 추진을 자제하는 것으로 판단된다.

이 연구결과는 다운증후군의 관절불안정성을 개선하기 위해 관절강성을 증가시키는 효과적인 근 골격계 강화훈련 프로그램을 마련하는데 유용한 자료를 제공할 것으로 기대되며, 다운증후군뿐만 아니라 선천적 또는 후천적 근 골격계 장애를 개선하거나 극복할 수 있는 운동프로그램 개발에도 참고 자료가 될 것으로 예상된다.

향후 보행 시 다리 관절에 미치는 생체역학적 변인

(근 모멘트, 근 파워, 관절반력 등)들에 대한 정량적 분석과 일상에서 흔히 접하게 되는 다양한 보행환경(계단보행, 경사면보행, 장애물보행, 보행방향 전환 및 정지 등)에 대한 연구가 이루어진다면 다운증후군 아동의 보행전략변경 기전을 구명할 수 있을 뿐 아니라 보행능력습득 단계별로 적합한 운동프로그램 개발에 유용한 정보를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

## References

- [1] A. P. B. Gontijo, M. C. Mancini, P. L. P. Silva, P. S. C. Chagas, R. F. Sampaio, R. E. Luz, S. T. Fonseca. Changes in lower limb co-contraction and stiffness by toddlers with Down syndrome and toddlers with typical development during the acquisition of independent gait. *Human Movement Science*, Vol.27, pp. 610 - 621, 2008.
- [2] B. A. Smith & B. D. Ulrich. Early onset of stabilizing strategies for gait and obstacles: Older adults with Down syndrome. *Gait & Posture*, Vol.28, pp. 448 - 455, 2008.
- [3] A. S. McIntosh, K. T. Beatty, L. N. Dwan, D. R. Vickers. Gait dynamics on an inclined walkway. *Journal of Biomechanics*, Vol.39, pp. 2491 - 2502, 2006.
- [4] B. D. Ulrich, V. Haehl, U. H. Buzzi, M. Kubo & K. G. Holt. Modeling dynamic resource utilization in populations with unique constraints: Preadolescents with and without Down syndrome. *Human Movement Science*, Vol.23, pp. 133 - 156, 2004.
- [5] P. E. M. Luteslager, A. Vermeer & P. J. M. Helder. Disturbances in the motor behaviour of children with Down's syndrome: The need for a theoretical framework. *Physiotherapy*, Vol.84, pp. 5 - 13, 1998.
- [6] B. Ulrich, D. A. Ulrich, D. H. Collier & E. L. Cole. Developmental shifts in the ability of infants with Down syndrome to produce treadmill steps. *Physical Therapy*, Vol.75, pp. 14 - 23, 1995.
- [7] R. Caselli, C. Cohen, E. Thompson, R. Adler & E. Gonzalez. Analysis of common orthopedic dysfunction in Down syndrome. *Developmental Medicine and Child Neurology*, Vol.3, pp. 55~78, 1991.
- [8] A. W. Parker, R. Bronks & C. W. Jr. Snyder. Walking patterns in Down's syndrome. *Journal of Mental Deficiency Research*, Vol.30, pp. 317 - 330, 1986.
- [9] M. Galli, C. Rigoldi, R. Brunner, N. Virji-Babul, A. Giorgio. Joint stiffness and gait pattern evaluation in children with Down syndrome. *Gait & Posture*, Vol.28,

pp. 502 - 506, 2008.

- [10] S. Agiovlasitis, J. A. McCubbin, J. K. Yun, G. Mpitsos, M. J. Pavol. Effects of Down syndrome on three-dimensional motion during walking at different speeds. *Gait & Posture*, Vol.30, pp. 345 - 350, 2009.
- [11] D. K. Han. Kinematical analysis of differences in gait pattern between children and adolescents with Down syndrome. *Journal of Adapted Physical Activity & Exercise*. Vol.10, No.2, pp. 27-40, 2002.
- [12] Y. J. Lee, J. H. Baek. Kinematical analysis of Down syndrome children's gait. *the Korean Journal of Physical Education*. Vol.39, No.3, pp. 654-663, 2000.
- [13] J. Prandota. Metabolic, immune, epigenetic, endocrine and phenotypic abnormalities found in individuals with autism spectrum disorders, Down syndrome and Alzheimer disease may be caused by congenital and/or acquired chronic cerebral toxoplasmosis. *Research in Autism Spectrum Disorders*. Vol.5, No.1, pp. 14-59, 2011.
- [14] Korea society for the study of Special Education. *Understanding of children with special educational need*. Yangseowon, 1987.
- [15] Winnick, J. P. *Adapted Physical Education and Sport*. 4th ed., Human Kinetics Publishers,
- [16] C. Cunningham. *Down Syndrome: An introduction for parents*. Cambridge, MA, 1987.
- [17] P. O. Riley, G. Paolini, U. D. Croce, K. W. Paylo & D. C. Kerrigan. A kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy subjects. *Gait & Posture*, Vol.26, No.1, pp. 17-24, 2007.
- [18] D. A. Neumann. *Kinesiology of the muscularoskeletal system*. Singapore: Mosby, 2004.

**이 재 훈(Jae-Hoon Yi)**

[정회원]



- 2003년 2월 : 한국체육대학교 체육학과 (체육학학사)
- 2005년 2월 : 한국체육대학교 대학원 체육학과 (체육학석사)
- 2010년 8월 : 한국체육대학교 대학원 체육학과 (이학박사)
- 2011년 7월 ~ 현재 : 나사렛대학교 재활스포츠연구소 연구교수

<관심분야>  
경기력 향상, 동작분석

**오 성 근(Seong-Geun Oh)**

[정회원]



- 1992년 2월 : 인하대학교 대학원 (금속공학 석사)
- 2011년 8월 : 한국체육대학교 대학원 체육학과 (이학 박사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 용인대학교 동양무예학과 택견전공 강사
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한국체육대학교 운동건강관리학과 강사

<관심분야>  
생체역학, 특수체육, 신체문화, 무예