



달리기시 최고 속도 및 피로 구간의 3차원 동작 분석

3-Dimensional Analysis of the Running Motion in the Max-Velocity Phase and the Fatigue Phase During 400m Sprint by Performed Elementary School Athletes

배성제* (춘천교육대학교)
Bae, Sung-Jee* (Chuncheon University)

ABSTRACT

S. J. BAE, 3-Dimensional Analysis of the Running Motion in the Max-Velocity Phase and the Fatigue Phase During 400m Sprint by Performed Elementary School Athletes. Korean Journal of Sports Biomechanics, 2006, Vol. 16, No. 4 pp. 115-124, 2006. This study was conducted to investigate the running motion in the max-velocity phase(150-160m) and the fatigue phase(350-360m) during 400m sprint by performed elementary school athletes. Eighteen elementary school male athletes who achieved at least the 3rd place in the sprint at the Korea Gangwon-Do elementary school track and field meetings during 2004 and 2005 were selected as subjects. The running motions performed by the subjects were recorded using two 8mm high speed cameras at the nominal speed of 100 frames per second. The Direct Linear Transformation technique was adopted from the beginning of filming to the final stage of data extraction. KWON 3D motion analysis package program was used to compute the 3 Dimensional coordinates, smoothing factor in which lowpass filtering method was used and cutoff frequency was 6.0 Hz. The movement patterns during foot touchdown and takeoff for the running stride were related with the biomechanical consideration.

Within the limitations of this study it is concluded:

In order to increase running velocity, several conditions must be fulfilled at the instant of leg touchdown and takeoff during the fatigue phase(350-360m). First, the body C.O.G(Center of Gravity) height should be raised at the instant of leg touchdown and takeoff during the fatigue phase. Second, the foot contact time should be shortened and the takeoff distance should be increased at the foot takeoff during the fatigue phase. Third, the shank angular velocity with respect to a transverse axis through the center of gravity should be increased during the leg touchdown and takeoff in the fatigue phase. Forth, the active landing style described as clawing the ground with the sole of the foot should be performed during the leg touchdown and takeoff in the fatigue phase) phase. Fifth, In order to increase running velocity in the fatigue phase while taking a slightly greater leg knee angle and body lean angle within the range of the subject's running motion during the fatigue phase would result in greater flight distance.

KEYWORDS: RUNNING MOTION, SPRINT, 3-DIMENSIONAL ANALYSIS

I. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

육상 경기 중 달리기의 기록은 신체의 구조적, 체력적, 기술적 요인 등에 의해 결정되므로 신체 구조적 조건과 체력적 조건이 우수한 것만으로는 최고의 기록에 도달할 수 없다. 따라서 달리기 경기에서 주어진 체격과 체력을 이용하여 기록을 극대화 하기 위해서는 신체의 구조적, 체력적 요인이 우수해야 함은 물론 달리기 경기의 전 구간에서 효율적인 동작을 구사하는 기술적 요인이 중요하다.

달리기는 다른 도구의 도움이 없이 가장 빠른 인간 이동 운동이며, 이는 걷기와는 달리 순간적으로 한 발 또는 두 발이 공중에 뜬 동작(air phase)이 포함되는 운동이다(배성제, 2004). 특히, 달리기는 육상 경기의 승패를 결정짓는 직접적인 중요성뿐만 아니라 스포츠의 기초 기술로서의 간접적인 중요성으로 인해 많은 연구의 대상이 되어 왔다(권영후, 1987). 따라서 달리기는 신체 활동이 포함된 놀이, 게임, 체육 및 스포츠 등 신체 활동에 필수적인 운동 기능의 하나로 빈번히 연구되어온 인간 이동 운동의 가장 기본적인 동작임과 동시에 기술(skill)이라고 할 수 있다.

달리기 동작 중 하지는 발이 지면에 닿는 지면기(ground phase) 또는 지지기(support phase)와 공중에 있는 공중기(air phase) 또는 복귀기(recovery phase)를 반복하게 되는데 걷기와는 달리 양발이 모두 공중에 있는 이중 공중기를 가진다(배성제, 1997). 지지기에서는 인체의 이동을 위한 추진력을 얻으며, 공중기에서는 하지를 급속히 원래의 위치로 복귀시켜 다음의 지지기에 대비한다. 따라서 빠른 이동을 위해서는 지지기 동안 큰 추진력을 얻어야 하며, 공중기에서는 빠른 복귀를 이루어야 한다. 그러나 체육 및 스포츠 활동의 측면에서는 달리는 그 자체가 중요한 것이 아니라, 보다 빨리 그리고 효과적으로 달릴 수 있는 능력이 중요하기 때문에 달리기의 주법은 학습되어야 하는 기능이다(James & Brubaker, 1973).

단거리 달리기의 기록은 주어진 거리와 그 거리에

대한 주자의 평균 속도에 의해 결정되며, 속도는 보폭(stride length)과 보속(stride frequency)의 곱(product)에 의해 결정된다(Hay, 1985). 단거리 달리기의 주법에 대한 연구에서, Hay(1985)는 단거리 달리기의 기록에 영향을 미치는 기술로는 출발법과 주법이 있으며, 특히 효율적인 주법을 위한 기술적 요인을 다리, 팔, 그리고 동체로 세분하여 제시하였다. 그밖에도 많은 학자들이 달리는 동작 자체에 대한 연구에 관심을 가지고 다양한 분석을 시도하였다. Ballreich(1976)는 단거리 달리기시 시간별 보폭과 보속의 영향을 평가하기 위한 모형을 개발했고, Richard(1987)는 달리는 동안 상지의 기능에 대한 연구를 각운동량을 중심으로 시도했다. 한편, 단거리 달리기의 주법에 대한 연구와 함께 구간별 속도 변화에 관한 연구가 이루어졌는데, 정지 상태에서 최고 속도에 도달할 때까지의 가속에 관한 문제와 최고 속도에 도달한 후의 피로에 의한 감속에 관한 문제들을 중심으로 연구되어왔다(Murase, Hosikawa, Yasuda, Ikegami, & Matsui, 1976; Volkov & Lapin, 1979; 배성제, 1997; 배성제, 2004). 또한, 단거리기 중 100m 달리기의 최고속도 구간과 감속 구간의 동작 비교 연구(배성제 & 은선덕, 1998)와 달리기의 동작이 고착화되는 초등학생을 대상으로 200m 달리기시 최고속도 구간과 피로 구간의 동작 비교(배성제, 2004) 연구도 있었다. 따라서 단거리달리기 중 달리기 동작에 대한 최근의 선행 연구들을 살펴보면 동작 자체에 대한 분석이 대부분이며, 구간별 속도 변화 즉 최고 속도 구간과 속도가 급격히 감소되는 피로 구간에서의 주법이나 동작에 대한 분석 연구는 100-200m 달리기 종목에 한정되어 있는 실정이다.

그러나 달리기 중 근 피로의 누적은 100m 와 200m 달리기 보다는 400m 달리기시 더 많은 근피로가 야기되며, 특히 400m달리기에서 350-360m 지점에서 강도 높은 사점(dead point)이 나타나 신체 중심의 속도는 급격히 감소된다고 볼 수 있다. 따라서 400m 달리기 사점구간에서 나타나는 달리기 동작의 변화는 400m 달리기 수행 능력에 큰 영향을 미친다고 볼 수 있으며, 이 구간에서의 운동역학적인 변인 분석을 통한 달리기 동작의 교정 및 트레이닝 방법을 모색하는 것은 400m 달리기의 경기력을 극대화하는데 중요한 대안이 될 수

있다.

따라서 본 연구에서는 400m달리기 동작을 최고 속도 구간에 도달하면서 달리기 동작이 정상 상태가 되는 150~160m지점과 강도 높은 사점(dead point)으로 인해 근 피로가 절정에 달하는 구간인 350~360m 지점으로 구분하여 영상 분석 방법을 통해 각 구간에서 나타나는 운동학적 변인과 운동역학적 변인을 비교 분석해 신체 중심의 속도가 급격히 감소되는 근피로 감소 구간에서의 효율적인 달리기 동작 모형을 제시하고자 한다.

본 연구의 결과는 400m 달리기의 운동역학적 기전(mechanism)을 규명하는데 도움을 주고, 선수 및 코치들에게 달리기의 운동 수행을 개선시킬 수 있는 자료를 제공할 것으로 기대된다. 그리고 본 연구의 결과는 체육 및 스포츠 현장에서 단거리달리기 기술을 지도할 때 달리기 동작에 대한 정확한 진단 및 평가를 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 단거리 달리기시 야기되는 하지의 부상 빈도를 줄이는데 기여할 것으로 판단된다.

II. 연구 방법

본 연구에서는 400m달리기 동작을 일반적으로 최고 속도 구간에 도달하면서 달리기 동작이 정상 상태가 되는 150~160m지점과 강도 높은 사점(dead point)으로 인해 근 피로가 절정에 달하는 구간인 350~360m 지점으로 구분하여 영상 분석 방법을 통해 각 구간에서 나타나는 운동학적 변인과 운동역학적 변인을 비교 분석해 신체 중심의 속도가 급격히 감소되는 근피로 구간에서의 효율적인 동작 모형을 제시하는 데 그 목적이 있다. 본 연구의 연구 대상자 선정, 이용되는 실험 도구, 자료분석 방법은 다음과 같다.

1. 연구의 대상자

본 연구의 연구대상자는 대한육상 경기 연맹에서 선수등록을 한 초등학교 5-6학년 남자 단거리 선수로 30명의 지원자 중에서 무작위로 16명을 선정하였다. 연구 대상자의 신장은 158.9 ± 3.4 cm, 체중은 53.3 ± 3.9 kg 였으며, 실험에 참가한 아동의 100m 달리기 최고 기록의

평균은 12.48 ± 0.23 초이었다. 16명의 연구 대상자가 400m 달리기를 2회 수행을 하였으며, 총 32회의 달리기 동작을 분석하였다.

2. 실험 장비

본 실험에 사용되는 장비에는 촬영 장비와 영상 분석 및 자료처리 장비가 있다. 촬영 장비에는 8mm 비디오 카메라, 기준척, 광량 측정기가 사용되며, 영상 분석 및 자료 처리 장비에는 동작 분석기, 디지털타이저, 컴퓨터 등이 사용되었다.

3. 자료분석 방법

3차원 좌표는 DLT(Direct Linear Transformation)방법으로 계산하였다. DLT 방법이란 필름에 기록된 상이 투영되어 실제 계측이 이루어지는 2차원 평면상의 좌표계인 영상평면 좌표계(Compara Coordinate System)와 피사점이 위치한 공간의 좌표계인 실공간 좌표계(Space Coordinate System)에 기록된 좌표 사이의 선형 변환식을 추출하는 방법이다(Walton,1985). 그리고 공간 좌표값을 미리 알고 있는 통제점을 활용하여 DLT 변환식 계수들을 계산하고, 계산된 DLT 변환식 계수와 동조된 2차원 좌표로부터 인체관절점의 3차원 좌표를 계산하였다.

3차원 좌표값을 계산할 때 여러 가지 원인에 의해 노이즈(Noise)가 발생하는데, 이러한 노이즈에 의한 오차를 제거하기 위하여 스무딩(Smoothing)을 행하였다. 본 연구에서는 저역통과필터(Lowpass Filter)방법에 의해 스무딩을 하였고 cut off frequency는 6.0 Hz로 하여 3차원 좌표값을 계산하였다.

III. 결과 및 논의

본 연구에서는 400m달리기 동작을 최고 속도 구간에 도달하면서 달리기 동작이 정상 상태가 되는 150~160m지점과 강도 높은 사점(dead point)으로 인해 근 피로가 절정에 달하는 구간인 350~360m 지점으로 구

분하여 3차원 영상 분석 방법을 통해 각 구간에서 나타나는 운동학적 변인과 운동역학적 변인을 비교 분석해 신체 중심의 속도가 급격히 감소되는 피로 감속 구간에서의 효율적인 달리기 동작 모형을 제시하는 데 그 목적이 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해 신체 중심의 이동 및 달리기 동작 형태를 분석하였다. 신체 중심의 이동 형태에서는 신체 중심의 수평속도, 수직 속도, 실제 달리기 속도, 신체 중심의 상대 높이의 변인을 분석하였으며, 달리기 동작 형태는 발의 지면 지지 소요시간, 상대 보폭 및 너비, 신체전·후경각, 이지거리, 무릎 관절 각속도 및 고관절 각속도, 하퇴 무게 중심의 각속도를 분석하였다.

1. 신체 중심의 이동 형태 분석

1) 수평속도, 수직 속도, 실제 달리기 속도 변화 형태

150-160m의 최고 속도 구간과 350-360m 피로 구간에서 신체 중심의 수평 속도, 수직 속도, 실제 달리기 속도 평균과 신체 중심의 실제 속도에 대한 결과는 표 III-1과 같이 나타났다. 신체 중심의 수평 속도, 수직 속도, 실제 속도는 오른발이 지면에 착지하는 순간의 달리기 속도와 오른발이 지면에서 떨어지는(離地 순간) 추진기 신체 중심의 평균 속도를 나타낸 것이다.

표 III-1과 같이 오른발이 지면에 착지할 때 신체 중심의 수평 속도, 수직 속도, 실제 속도는 최고 속도 구간에서는 평균 6.11 ± 0.53 , -0.32 ± 0.32 , $6.22\pm 0.21\text{m/s}$ 로 각각 나타났으며, 피로 감속 구간에서는 평균 5.24 ± 0.33 , -0.23 ± 0.46 , $4.44\pm 0.45\text{m/s}$ 로 나타났다. 그리

고 오른발이 지면에서 이지(離地)하는 시점인 추진기에 신체 중심의 수평 속도, 수직 속도, 실제 속도 평균값은 최고 속도 구간에서 7.23 ± 0.38 , 0.43 ± 0.11 , $6.98\pm 0.44\text{m/s}$ 로 나타났으며, 피로 감속 구간에서 6.33 ± 0.29 , 0.11 ± 0.02 , $5.32\pm 0.38\text{m/s}$ 로 나타났다.

최고 속도 구간과 피로 감속 구간에서 순간 동작별 신체 중심의 속도 차이의 유의성에 대한 평균차의 결과는 표 III-1에 제시하였으며, 발이 지면에 착지하는 순간과 오른발이 지면에서 떨어지는 시점인 추진기에 신체 중심의 실제 속도가 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 100m 달리기(배성제, 1998)와 200m 달리기(배성제, 2004)의 근피로 구간에서 최고 속도의 7.3 ~ 9%의 손실이 발생한다는 선행 연구(배성제, 2004 ; 배성제, 1998 ; Chow, 1987)의 결과와 비교할 때 거의 유사한 결과로 볼 수 있다. 따라서 달리기 시 발이 지면에 착지할 때 발의 착지 형태가 제동적 착지를 취하는 것 보다는 수평 속도의 감속율을 줄이는 활동적 착지를 하는 것이 달리의 기록 향상에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 사료된다.

2) 신체 중심의 상대 높이

150-160m의 최고 속도 구간과 350-360m 피로 구간에서 신체 중심의 상대 높이에 대한 결과는 표 III-2와 같이 나타났다. 신체 중심의 상대 높이(신체 중심의 상대 높이=신체 중심의 절대 높이/신장 $\times 100$)는 오른발이 지면에 착지하는 순간의 신체 중심의 상대 높이와 오른발이 지면에서 떨어지는(離地) 추진기 신체 중심의 평균 상대 높이를 나타낸 것이다.

표 III-1. 달리기 속도의 평균차 결과

변 인	구 간		자유도(df)	t 값	유의 수준
	최고 속도 구간	피로 감속 구간			
착지시 수평 속도(m/s)	6.11 ± 0.53	5.24 ± 0.33	31	2.567	$p=0.004$
착지시 수직 속도(m/s)	-0.32 ± 0.32	-0.23 ± 0.46	31	1.032	$p=0.342$
착지시 실제 속도(m/s)	6.00 ± 0.21	4.44 ± 0.45	31	4.543	$p=0.003$
추진시 수평 속도(m/s)	7.23 ± 0.38	6.33 ± 0.29	31	2.567	$p=0.008$
추진시 수직 속도(m/s)	0.43 ± 0.11	0.11 ± 0.02	31	0.980	$p=0.969$
추진시 실제 속도(m/s)	6.98 ± 0.44	5.32 ± 0.38	31	4.765	$p=0.002$

표 III-2. 중심의 상대 높이의 평균차 결과

변 인	구 간		자유도(df)	t 값	유의수준
	최고 속도 구간	피로 감속 구간			
착지시 상대 신체 중심의 높이 (m, %)	0.65±0.21(48.4±1.8)	0.60±0.11(46.0±2.2)	31	4.543	p=0.002
추진시 상대 신체 중심의 높이 (m, %)	0.68±0.34(50.5±1.3)	0.64±0.14(48.1±1.9)	31	3.198	p=0.004

표 III-2와 같이 착지시 신체 중심의 신체 중심의 절대 높이는 최고속도 구간과 피로 감속 구간에서 평균 0.65±0.21, 0.60±0.11 m 로 각각 나타났으며, 추진 시에서는 최고속도 구간과 피로 감속 구간에서 평균 0.68±0.34, 0.64±0.14 m 로 각각 나타났다. 그리고 착지시 신체 중심의 신체 중심의 상대 높이는 최고속도 구간과 피로 감속 구간에서 평균 48.4±1.8, 46.0±2.2 % 로 각각 나타났으며, 추진 시에서는 최고속도 구간과 피로 감속 구간에서 평균 50.5±1.3, 0.64±0.14% 로 각각 나타냈다.

특히, 발 착지시 신체 중심의 상대 높이와 신체 중심의 실제 속도간의 상관 관계는 $r=0.25(p<0.10)$, $r=0.43(p<0.05)$ 으로 각각 나타나 신체 중심의 상대 높이와 신체 중심의 실제 속도 간에는 다소 낮은 정적 상관 관계를 보였다. 그러나 추진기시 신체 중심의 상대 높이와 실제 속도간의 상관 관계는 $r=0.48(p<0.01)$, $r=0.72(p<0.0001)$ 로 각각 나타나 발 추진시 신체 중심의 상대 높이와 달리기 속도간의 상관 관계가 높게 분석되었다. 이러한 결과로 볼 때, 달리기시 발이 지면에서 이지(離地)하는 순간에 신체 중심의 높이를 높게 유지하는 동작이 달리기 기록에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보여 진다. 즉 추진기 후반기에 신체 중심을 높게 유지하기 위해서는 추진 다리(lead leg)의 무릎을 최대한 높이

면서 지지 발(support leg)의 무릎 관절각을 최대한 크게 유지하는 동작을 취하는 것이 효율적이다. 특히, 발이 착지하고 이지하는 순간에 신체 중심의 상대 높이가 클수록 좋은 기록을 보인 결과로 판단해 볼 때 피로 감속 구간에서는 신체 후경각을 최소화하고, 지지 다리의 무릎을 최대한 신전시켜 신체 중심을 높여 멀리 내딛는 동작을 취하는 것이 보폭을 늘려 달리기 속도 감소율을 줄이는 것으로 판단된다. 따라서 피로 감속 구간에서의 달리기 동작의 수정과 함께 웨이트 및 플라이오 메트릭스 트레이닝, 박스 드릴 운동을 통해 각근력을 향상시키고, 스트레칭 등과 같은 다리 관절의 유연성 운동이 필요할 것으로 사료된다.

2. 달리기 동작 형태 분석

1) 발의 지면 지지 소요시간, 상대 보폭 및 너비
150-160m의 최고 속도 구간과 350-360m 피로 구간에서 최고 속도 구간과 피로 감속구간에서 발의 지면 지지 소요시간, 상대 보폭 및 너비의 평균과 각 변인에 대한 t-검증 결과는 표 III-3과 같이 나타났다. 상대 보폭은 실제 측정 보폭/신장×100으로 계산되었으며, 발의 지면 지지 소요 시간은 오른발이 지면에 착지는 시점과 이지(離地)되는 시점간의 시간을 의미한다.

표 III-3. 상대 보폭 및 발의 지면 지지 시간의 평균차 결과

변 인	구 간		자유도(df)	t 값	유의수준
	최고 속도 구간	피로 감속 구간			
발의 지면지지 소요 시간 (초)	0.102±0.02	0.144±0.04	31	4.987	p=0.000
상대 보폭 (%)	128.3±4.5	120.0±4.1	31	6.943	p=0.000
상대 너비(%)	0.115±4.6	0.148±3.3	31	2.765	p=0.049

표 III-3과 같이 최고 속도 구간과 피로 감속 구간에서 발의 지면 지지 소요시간은 0.102 ± 0.02 초, 0.144 ± 0.04 초로 각각 나타났는데, 이것은 피로 감속 구간에서 지면지지 시간이 길어 달리기 속도에 부정적인 영향을 미친 것으로 판단된다. 이러한 결과는 100m 달리를 분석한 선행 연구(Hoffman, 1972 ; 배성제, 1998)와 200m 달리기(배성제, 2004)의 연구 결과와 거의 비슷한 결과로 볼 수 있으며, 또한 Housden(1964)이 주장한 정상 속도 구간과 근피로 구간의 평균 지지 시간은 각각 40%와 43.5%의 비율로 나타난다는 결과와도 유사하게 나타났다.

그리고 상대 보폭의 평균은 $128.3 \pm 4.5\%$, $120.0 \pm 4.1\%$ 로 분석되었으며, 발과 발 사이의 상대 너비는 최고 속도 구간에서는 $0.115 \pm 4.6\%$ 이었으며, 피로 감속 구간에서는 $0.123 \pm 3.3\%$ 로 나타났다. 특히, 상대 보폭과 달리기 속도간의 상관 관계는 $r=0.38$ ($p<0.09$)로 분석되었으며, 너비와 달리기 속도간의 상관 관계는 $r=0.25$ ($p<0.21$)로 나타났다. 이러한 결과는 통계적으로 유의한 상관을 보이지는 않았지만, 연구 대상자의 운동 범위 내에서 상대 보폭을 다소 늘리면서면서 발과 발 사이의 너비를 최소화하는 동작이 달리기 속도에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 사료된다. 따라서 보폭을 증가시키기 위해서는 최대한 추진 다리의 무릎을 높게 함과 동시에 신체 중심을 높여야 하며, 특히 피로 감속 구간에서는 발과 발 사이의 너비 거리를 줄이는 주법이 효율적인 것으로 판단된다. 따라서 100m, 200m, 400m 단거리 달리기시에는 배성제(1998, 2004)의 연구와 마찬가지로 지지 시간의 차이는 주행 속도의 차이에서 생기는 것으로 보이나 피로 감속 구간에서는 발 지지시간을 길게 하여 수평 속도를 감소시키는 비효율적인 동작은 피해야 할 것으로 사료된다. 특히 100m, 200m, 400m 피로 감속 구간에서는 스트라이드(stride) 빈도를 줄이지 않는 범위 내에서 의도적으로

보폭을 넓히려는 노력이 필요하며 고관절, 무릎 관절, 발목 관절의 신전을 강하고 빠르게 하여 이지 거리를 길게 유지하는 것이 달리기 속도의 감소율을 최소화하는데 도움이 되는 동작으로 사료된다.

2) 신체전·후경각, 이지거리

최고 속도 구간과 피로 감속 구간에서 신체 전·후경각, 이지 거리의 평균과 각 변인에 대한 결과는 표 III-4와 같이 나타났다. 신체 전경각은 수직축과 오른발 이지시 신체 중심과 발 끝과의 전방 연결선이 이루는 각을 의미하며, 신체 후경각은 오른발 착지시 수직축과 오른발 착지시 신체 중심과 발 끝과의 후방 연결선이 이루는 각을 의미한다. 그리고 이지(離地) 거리는 오른발 착지시 신체 중심과 발 끝과의 수평거리를 나타낸다.

표 III-4와 같이 신체 전경각은 최고 속도 구간과 피로 감속 구간에서 각각 $7.4 \pm 1.0^\circ$, $1.2 \pm 1.4^\circ$ 로 나타났다. 이와 같이 신체 전경각과 후경각은 최고속도 구간과 피로감속 구간에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며, 이러한 결과는 근 피로 구간에서는 몸통 등 전체적인 신체 부위가 후방으로 치우치는 동작이 나타나는 것으로 볼 수 있다. 이러한 결과로 볼 때 연구 대상자의 동작 범위 내에서 추진 발이 착지하는 순간에 신체 전경각을 다소 크게 유지하는 것이 달리기 기록에 긍정적인 영향을 미친다고 할 수 있으며, 특히 신체 후경각을 최소화하는 동작은 추진 발이 이지되는 후반기에 수평 속도의 감소율을 줄이는 데 기여하는 동작으로 판단된다. 따라서 발이 착지하는 순간에 신체 후경각을 작게 유지하고 발이 이지하는 순간에는 적절한 추진 각도를 유지하면서 전경각을 다소 크게 하는 동작이 이지 거리(takeoff distance)를 증가시켜 결과적으로 달리기 속도를 향상시키는 데 기여하는 것으로 사료된다.

표 III-4. 신체전·후경각, 이지거리

변 인	달리기 구간		자유도(df)	t 값	유의수준
	최고 속도 구간	피로 감속구간			
신체 전경각(°)	7.4±1.0	1.2±1.4	31	7.675	p=0.000
신체 후경각(°)	23±0.4	5.6±0.7	31	0.598	p=0.765
이지 거리(m)	0.26±0.1	0.19±0.3	31	2.765	p=0.009

한편 이지 거리(takeoff distance)는 최고 속도 구간과 피로 감속 구간에서 각각 $0.26\pm 0.3m$, $0.19\pm 0.1m$ 로 나타났으며, 두 구간 차이에 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있다고 할 수 있다. 또한, 400m 단거리 달리기에서 150-160m의 최고속도 구간에서는 350-360m의 피로 구간에서보다 신체 중심의 직하방에 가까운 위치에서 착지가 이루어진다는 것을 알 수 있다. 주행시 추진발이 착지될 때 신체 중심과 지면이 이루는 각도가 90° 에 가까운 경우, 즉 착지하는 발이 지면에 대해 연직 하방에 가까운 지점에 놓일수록 주행 속도의 감소가 적어진다는 배성제(1998)의 연구 결과와 일치하는 것으로 볼 수 있다. 따라서, 근피로 감속 구간에서는 발이 지면에 닿는 순간 후방으로의 "retarding effect"를 최소화시킬 수 있도록 최대한 신체 중심의 직하방에 가까운 위치에 착지하도록 하여 신체 중심과 발끝의 수평거리를 최소화시키는 것이 효과적이라고 할 수 있다(신보삼, 1986 ; 배성제, 1998 ; 배성제, 2004).

신체 전경각과 후경각의 결과로 볼 때, 최고 속도 구간에서의 신체 전경각과 피로 감소 구간에서의 신체의 전경각의 차이를 최소화 하려는 노력이 피로 감속 구간에서 발생하는 달리기 속도의 감속률을 최소화시키는 데 도움이 될 것으로 사료된다. 이러한 동작은 초등학교를 대상으로 한 100m 달리기 연구 결과(배성제, 1998)와 200m 달리기 연구 결과(배성제, 2004)와 같이 상체를 굽힌 상태에서 착지가 이루어질 경우 관절의 가동 범위가 넓어지기 때문에 그만큼 보폭을 길게 유지한다는 장점이 있기 때문으로 판단된다.

3) 무릎 관절 각속도 및 고관절 각속도, 하퇴 무릎 중심의 각속도

150-160m의 최고 속도 구간과 350-360m 피로 구간에서 최고 속도 구간과 피로 감속 구간에서 무릎 관절 각속도 및 고관절 각속도, 하퇴 무릎 중심의 각속도의 평균과 각 변인에 대한 평균차이의 검정 결과는 표 III-5와 같이 나타났다.

표 III-5와 같이 무릎 관절각속도는 최고 속도 구간에서 착지 시에는 -3.19 ± 0.35 rad/s, 추진 시에는 -1.65 ± 0.23 rad/s로 나타났으며, 피로 감속 구간에서는 착지 시에는 1.07 ± 0.21 rad/s, 추진 시에는 -0.11 ± 0.10 rad/s 로 각각 나타났다. 그리고 고관절 각속도는 최고 속도 구간에서 착지 시에는 -0.28 ± 0.19 rad/s, 추진 시에는 -0.09 ± 0.02 rad/s로 나타났으며, 피로 감속 구간에서는 착지 시에는 -1.01 ± 0.42 rad/s, 추진 시에는 0.16 ± 0.24 rad/s 로 각각 나타났다. 한편, 하퇴 무릎 중심의 각속도는 최고 속도 구간에서 착지 시에는 -15.43 ± 4.88 rad/s, 추진 시에는 -7.42 ± 3.65 rad/s로 나타났으며, 피로 감속 구간에서는 착지 시에는 5.78 ± 5.22 rad/s, 추진 시에는 -1.45 ± 0.65 rad/s 로 각각 나타났다.

일반적으로 달리기시 추진발이 착지한 이후 초반기에는 무릎 관절각이 굴곡 상태를 보이다가 착지발이 이 지하여 발이 착지하기 직전까지 신전이 됨과 동시에 발이 착지한 후반기부터 굴곡 현상을 보이는 경향이 보인다. 특히 달리기시 발이 착지한 이후 초반에 최고속도 구간에서는 다소 작은 무릎 관절 굴곡 현상을 보이는 반면에 피로 감속 구간에서는 최고 속도 구간보다 다소

표 III-5. 무릎 관절각속도 및 고관절 각속도, 하퇴 무릎 중심의 각속도 평균차

변 인	구 간		자유도(df)	t 값	유의수준	
	최고 속도 구간	피로 감속 구간				
무릎 관절각속도(rad/s)	착지기	-3.19 ± 0.35	1.07 ± 0.21	31	-11.430	p=0.000
	추진기	-1.65 ± 0.23	-0.11 ± 0.10	31	8.098	p=0.003
고관절 각속도(rad/s)	착지기	-0.28 ± 0.19	-1.01 ± 0.42	31	0.354	p=0.876
	추진기	-0.09 ± 0.02	0.16 ± 0.24	31	1.129	p=0.154
하퇴 무릎 중심의 각속도(rad/s)	착지기	-15.43 ± 4.88	5.78 ± 5.22	31	-8.543	p=0.000
	추진기	-7.42 ± 3.65	1.45 ± 0.65	31	-9.987	p=0.000

큰 굴곡 형태를 보이고 있다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 달리기시 추진발이 착지하여 이지하는 동안에 신체 중심의 수평 속도 감소율을 줄여 달리기 기록에 긍정적인 영향을 미치기 위해서는 무릎 굴곡을 작게 하고 무릎 관절의 굴곡과 신전이 교차되는 시점을 다소 빠르게 하는 동작이 도움이 된다고 사료된다.

특히, 추진발의 착지시 및 추진시에 하퇴 무게 중심의 가속도, 즉 X축에 대한 하퇴 가속도는 시계 방향(clockwise)으로 부정(-)인 가속도가 크게 작용하면 달리기 기록에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 Ramey(1970), Koh와 Hay(1990), 배성제(1998), 배성제(2004)의 연구 결과와 부합되고 있는데 활동적 착지(active landing) 동작과 연결된 달리기 동작을 취하는 것이 발이 지면에 떨어지는 순간에 수평 속도의 감소율을 줄여 달리기 기록을 향상시키는데 효과적인 것으로 판단된다.

이러한 결과는 최고 속도 구간에서 오른발이 착지하는 순간에, 무릎 관절각속도 및 고관절 각속도, 하퇴 무게 중심의 가속도의 방향이 부정(- 방향 : 주행 방향이 X축이므로 달리는 방향의 반대 방향으로 가속도가 작용)으로 나타나 착지하는 순간에 무릎 관절각속도 및 고관절 각속도, 하퇴 무게 중심의 가속도의 작용으로 인해 더 큰 전방으로의 추진력에 도움을 주는 동작으로 판단된다. 또한, 이러한 현상은 최고 속도 구간에서 오른발이 지면에 착지하는 순간 발을 할퀴듯이 지면에 내딛는 착지 형태로 후방으로의 제동력을 줄여 진행 방향의 수평 속도의 감소율을 줄이는 데 기여하는 동작으로 볼 수 있다(배성제, 1998 ; 배성제, 2004). 한편, 피로 감소 구간에서는 하퇴의 가속도의 방향이 양적(+ : 주행 방향 X축으로 가속도가 작용)으로 나타나 오른발이 착지하는 순간에 제동 착지 형태를 보이는 경향이 있는데, 이러한 동작은 전방에 대한 신체 중심의 수평 속도를 줄이는 요인이 된다(Williams, 1985 ; 배성제, 1998 ; 배성제, 2004).

따라서 육상 경기 중 100m, 200m, 400m 단거리 달리기 경기에서 동작의 효율성을 극대화하기 위해서는 피로 감소 구간에서 추진발이 지면에 착지하는 순간 앞 발끝을 할퀴듯이 지면에 내딛는 착지 형태를 취하는 것이 도움이 된다고 할 수 있다. 이런 동작은 후방으로

의 속도의 방해를 줄여 달리기 진행 방향의 신체 중심의 실제 속도의 감소율을 줄이는 데 기여하는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 초등학교 고학년을 대상으로 400m달리기 동작을 최고 속도 구간에 도달하면서 달리기 동작이 정상 상태가 되는 150~160m지점과 강도 높은 사점(dead point)으로 인해 큰 피로가 절정에 달하는 구간인 350~360m 지점으로 구분하여 영상 분석 방법을 통해 각 구간에서 나타나는 운동학적 변인과 운동역학적 변인을 비교 분석해 신체 중심의 속도가 급격히 감소되는 피로 감소 구간에서의 효율적인 동작 모형을 제시하는데 그 목적이 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해 신체 중심의 이동 및 달리기 동작 형태를 분석하였다. 신체 중심의 이동 형태에서는 신체 중심의 수평속도, 수직 속도, 실제 달리기 속도, 신체 중심의 상대 높이의 변인을 분석 하였으며, 달리기 동작 형태는 발의 지면 지지 소요시간, 상대 보폭 및 너비, 신체전·후경각, 이지거리, 무릎 관절 각속도 및 고관절 각속도, 하퇴 무게 중심의 각속도를 분석하였다. 본 연구의 연구 대상지는 대한육상 경기 연맹에서 선수등록을 한 초등학교 5·6학년 남자 육상 단거리 선수로 지원자 중에서 무작위로 16명을 선정하였으며, 2회의 반복 시기를 분석하였고, 달리기 동작은 DLT를 이용한 3차원 영상 분석법을 이용하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결과의 요약과 결론은 다음과 같다.

- 1) 피로 감소 구간 달리기시 발이 지면에서 이지(離地)하는 순간에 신체 중심의 높이를 높게 유지 하는 동작이 달리기 속도를 높이는데 긍정적인 영향을 미치는 것으로 파악되며, 추진기 후반기에 신체 중심을 높게 유지하기 위해서는 추진 다리(lead leg)의 무릎을 최대한 높이면서 지지 발(support leg)의 무릎 관절각을 최대한 크게 유지 하는 동작을 취하는 것이 효율적이다. 특히, 발이 착지하고 이지하는 순간에 신체 중심의 상대 높

- 이가 높을수록 좋은 기록을 보인 결과로 판단해 볼 때 피로 감속 구간에서는 신체 후경각을 최소화하고, 지지 다리의 무릎을 최대한 신전시켜 신체 중심을 높여 멀리 내딛는 동작을 취하는 것이 보속(스트라이드 빈도)을 줄이지 않는 범위 내에서 보폭을 늘리는 동작이 피로 감속 구간에서의 달리기 속도 감소율을 줄이는 것으로 판단된다.
- 2) 피로 감속 구간에서는 몸통, 다리, 허리 등 전체적인 신체 부위가 후방으로 치우치는 동작 경향성이 나타났다. 따라서 연구 대상자의 동작 범위 내에서 추진 발이 착지하는 순간에 신체 전경각을 다소 크게 유지하는 것이 기록에 긍정적인 영향을 미친다고 할 수 있으며, 특히 신체 후경각을 최소화하는 동작은 추진 발이 이지(離地)되는 후반기에 수평 속도의 감소율을 줄이는 데 기여하는 동작으로 판단된다. 따라서 구름발이 착지하는 순간에 신체 후경각을 작게 유지하고 구름발이 이지하는 순간에는 적절한 추진 각도를 유지하면서 전경각을 다소 크게 하는 동작이 이지 거리(takeoff distance)를 증가시켜 결과적으로 피로 감속 구간에서의 달리기 속도를 향상시키는 데 기여하는 것으로 사료된다.
- 3) 피로 감속 구간에서 추진발이 착지하여 이지하는 동안에 신체 중심의 수평 속도 감소율을 줄이기 위해서는 무릎 굴곡을 작게 하고 무릎 관절의 굴곡과 신전이 교차되는 시점을 다소 빠르게 하는 동작이 도움이 된다고 사료된다. 특히, 고관절, 무릎 관절, 발목 관절의 신전을 강하고 빠르게 하여 이지(離地) 거리를 길게 유지해야하며, 특히, 착지 및 추진 시에 하퇴 무게 중심의 각속도, 즉 주행 진행 방향의 수직축에 대한 하퇴 각속도는 시계 방향(clockwise)으로 부정(-)인 각속도가 크게 작용하면 피로 감속 구간의 달리기 기록에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- 4) 피로 감속 구간에서 추진발이 지면에 착지하는 순간 앞 발끝을 할퀴듯이 지면에 내딛는 착지 형태(active landing)를 취하는 것이 신체 중심의 속도를 증가시키는데 도움이 된다고 할 수 있다. 이런 동작은 후방으로의 제동력을 줄여 진행 방향

의 수평 속도의 감소율을 줄이는 데 기여하는 것으로 판단된다. 근피로 구간에서 신체 중심의 전방 속도를 극대화하기 위해서는 주행 후방방향으로의 수평 충격량을 감소시켜야 하며 이를 위해서는 추진발이 지면에 착지할 때 상체의 전경각도를 다소 크게 유지하고, 착지하는 발을 최대한 신체 중심에 가깝게 내딛는 동작이 400m 달리기 기록 단축에 효율적이라고 판단된다.

참 고 문 헌

- 권영후(1985). 수행중 누적되는 근 피로가 400m 단거리 달리기 역학에 미치는 영향, 서울대학교 대학원, 석사학위논문.
- 배성제(1995). 멀리뛰기의 발구름 동작과 기록의 운동역학적 관계, 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
- 배성제(1997). 육상경기, 대한교과서 주식회사.
- 배성제(1998). 초등학교 학생의 100m 달리기시 최고 속도 및 피로 구간의 운동역학적 변인 분석. *춘천교육대학교 예체능 교육연구 제 3집*. PP.123-143.
- 배성제(2004). 초등학교 학생의 200m 달리기시 정상 속도 및 근 피로 구간의 운동역학적 변인 분석. *춘천교육대학교 예체능 교육연구 제 5집*. PP.86-92.
- 신보삼 (1986). 주도투 운동의 생체역학적 연구, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 신인식 (1987). 3차원 영상분석법의 비교연구, *서울대학교 체육연구소논문집 제8권 제 1호*, pp.33-43.
- 신인식(1987). 3차원 영상 분석법의 비교 연구. *서울대학교 체육연구소 논문집*. 제 8권 1호 PP. 33-43.
- Chow, J. W. (1987). Maximum speed of female high school runners. *International Journal of Sports Biomechanics*, 3: 110-127.
- Deshon, D. E. & Nelson, R. C. (1964). A cinematographical analysis of sprint running. *Research Quarterly*, 35, No. 4, PP. 453-454.
- Hay, J. G. (1985). *The Biomechanics of Sports Techniques*. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice-

- hall Inc.
- Hoffman, K. (1971). Stature, leg length, and stride frequency. *Track Technique*, No. 46, PP. 1463-1469.
- Hoffman, K. (1972). Stride length and frequency of female sprinter. *Track Technique*, No. 48, PP. 1522-1524.
- Hopper, B. (1962). Rotation, a vital Factor in athletic technique. *Track Technique*, 10: 306-310.
- Hoshikawa, T., Matsui, H., & Miyashita, M. (1973). An analysis of running pattern in relation to speed. In: S. cerquigilini, A. Venerando, & J. Wartenweiler(eds.), *Biomechanics III*. Baltimore : University Park Press, PP. 342-348.
- Housden, F. (1964). Mechanical analysis of the running movement. In F. Wilt(ed.), *Run, run run. Los Altos: Track and Field News*. PP. 240-242.
- Ikai, M. (1968). Biomechanics of sprint running with respect to the speed curve. In: J. Wartenweiler, E. Jokl & M. Hebbelinck(eds.), *Biomechanics I*. Baltimore : University Park Press, PP. 342-348.
- James, S. L. & Brubaker, C. E. (1973). Biomechanical and neuromuscular aspects of running. *Exercise and Sport Sol. Rev.* 1: 189-216
- Luhtanen, P. & Komi, P. V. (1983). Mechanical factors influencing running speed. In: *Biomechanics VI -B*, E. Asmussen & K. Jørgensen(ed.), Baltimore: University Park Press, PP. 112-120.
- Lysholm, J. & Wiklander, J. (1985). A comparison of pattern of motion between different categories of runners and different speeds. *Arbete och Hälsa*, 14: 166.
- Murase, Y., Hoshikawa, T., Yasuda, N., Ikegami, Y. & Matsui, H.(1976). Analysis of the changes in progressive speed during 100-meter dash. In: *Biomechanics V-B*, P. V. Komi(ed.), Baltimore: University Park Press, PP. 200-207
- Plagenhoef, S. C., Evans, F. G. & Abdelnour, T. (1983). Anatomical Data for Analyzing Human Motion. *Research Quarterly*, Vol. 54, No. 2. PP. 169-178.
- Richard N. H. (1987). Upper Extremity Function in Running. II: Angular Momentum Considerations. *IJSB*. PP. 242-263.
- Takashi, Y., Kanji, S., Michiyoshi, A. & Yoshihiro, H. (1987). Effects of stature difference on sprint running motion. In: *Biomechanics X-B*, B. Jonsson(ed.). Champaign, IL: Human Kinetics, PP. 881-885.
- Volkov, N. I. & Lapin, V. I. (1979). Analysis of the velocity curve in sprint running. *Medicine and Science in Sports*, 11, No. 4, PP. 378-382.
- Walton, J. S. (1981). *Close-range cine-photogrammetry: a generalized technique for quantifying close gross human motion*. Unpublished doctoral dissertation. Pennsylvania State University, University Park, PP. 65-82.
- Williams, K. R. (1985). Biomechanics of running. (ed.)Terjung, R. L., *Exercise and sport Science Reviews*, 13: 389-441.

투 고 일 : 2006. 10. 30

심 사 일 : 2006. 11. 10

심사완료일 : 2006. 12. 20