

Sprinting의 競技力 向上을 위한 運動力學的 研究(I)

李昌俊*, 柳在青**

Kinetic Study for Improvement of Performance in Sprinting (I)

Lee Chang-joon*, Ryu Che-cheong**

Summary

The study was undertaken to investigate the mechanism of 3 linked system of lower limb in sprinting. The subjects recruited in the study were composed of 2 athletes of national team athletic department.

The experiment was undertaken in 400m track, lateral view of sprinting subject was photographed by photosonic high speed camera in 100 frame per second.

The conclusion obtained were as follows:

1. C.O.G. velocity was not shown variation from L-off to last phase L-down in horizontal & vertical velocity components.
2. Segment's vertical & horizontal velocity component was faster than past studies, this meant faster in takeoff phase.
3. The acceleration curve had't coordination among segments in contraction order, therefore must educate contraction ability of foot, shank, thigh order.
4. Angular displacement & angular velocity also had not coordination of muscle contraction, therefore can be influenced of greater moment of inertia.
5. Resultant muscular moment had in order of dominant group of knee flexor, hip flexor, dorsiflexor.

序 論

단거리 달리기에서 공중기는 비교적 큰 하지 근육의 활동을 요하므로 이들 근육군의 활동정도

와 하지 3분절의 연쇄계에서 발생하는 에너지 전환 및 기능적 근육군의 활동을 정량적으로 분석하여 공중기의 국면을 이해하여 현장에 활용하는 것이 중요하다.

단거리 달리기에서 지면을 박찬 후 무게중심의

* 自然科學大學 體育學科

** 國民大學校 大學院

후위에 있는 하지를 매우 빠른 속도로 전위로 복귀시켜야 하며 이 복귀동작이 원활하지 않으면 앞으로 넘어 지거나 이동 속도의 제한을 받게 된다.

이러한 복잡한 하지활동의 기전은 발과 하퇴 및 대퇴의 상호 작용의 3분절 연쇄계(3 segmental linked system)로 볼 수 있다. 각 분절 사이에 형성되는 링크 즉 관절 주위에는 여러개의 크고 강한 근육군이 분포하며, 이들은 모두 기능적인 상호 작용을 한다. 이들 근육군의 수축작용에 의해 하지의 반복적인 운동이 발생하며 이 때 발이 지면에 가한 힘에 의해 반작용력(ground reaction force)이 발생하여 신체가 이동을 한다. 결국 이동운동(locomotion) 중에 기능적 근육군이 골격계(skeletal muscle system)에 미치는 영향을 정량화 하는 수단에 대한 이해를 하게 된다면 기록의 단축, 훈련처방, 상해예방을 위한 방안을 마련할 수 있다.

이러한 주운동의 보폭(stride)을 크게 공중기와 지지기로 구분하며 지지기는 다시 무게중심이 지지발의 수직 연장선을 지날때 까지를 억제기 또는 감속기(decelerating phase)와 지면에서 발이 떠나는 직전(toe-off)까지의 가속기(accelerating phase)로 나누고 공중기는 하지가 급격히 굴곡하는 하퇴굴곡기, 하퇴의 굴곡에 의한 관성모멘트(moment of inertia)의 감소로 인해 대퇴가 굴곡하는 대퇴굴곡기 및 착지(touch-down)를 위해 하퇴와 대퇴가 신전한다.

이처럼 단거리 달리기에서 하지의 복귀동작이 중요한 요인임에도 불구하고 공중기에 대한 연구는 매우 드문편이다(Dillman, 1971).

주운동은 다른 도구의 도움을 받지 않는 가장 빠른 인간의 이동 수단으로서 보행운동과 함께 가장 기초적인 이동운동의 형태이다. 단 이 두 운동의 차이점을 보면 보행은 두 발이 동시에 지면에 닿아 있는 이중지지기(double supporting phase)가 존재하는 반면, 주운동은 두 하지가 동시에 공중에 떠 있는 이중공중기(double air phase)를 가지는 점에서 각각 특징이 다르다(Mann, 1980).

따라서 본 연구는 단거리 달리기에서 공중기 동안 하지 3분절의 기능적 근육군의 근 모멘트 및 이를 유발하는 운동학적 변인을 각 국면에 따라서

분석하여 현장 훈련에 중요한 자료를 제공하기 위해 착수하였다.

材料 및 方法

1. 實驗對象

본 연구에 참여한 피험자는 국가대표 단거리 선수 2명으로서 평균 연령은 23세, 평균 신장은 170cm, 평균체중은 67kg, 선수 평균경력은 6년이었다. 이들은 실험 당시 국가대표로서 활약하고 있는 선수였고, 신체적, 정신적으로 상태가 매우 양호한 상태였다.

2. 實驗方法

본 연구는 단거리 달리기에서 하지의 기능적인 근육군의 활동정도를 나타내는 운동역학적(kinetics) 변인인 근 모멘트(resultant muscular moment)와 이를 유발시키는 운동학적(kinematics) 변인을 산출 및 분석하기 위해 최고 속도를 내는 지점(40~50m)에서 완전한 1스트라이드를 촬영하였다. 트랙을 달리고 있는 동안 고속카메라를 코스안쪽에서 세팅하였고, 피험자와 완전한 1 stride를 포착할 수 있게 세팅을 하였고, 노출시간은 1/1000초로 한 다음 초당 100프레임으로 촬영하였다. 이 때 사용한 필름은 ASA 100의 감도를 사용했다.

실제 촬영을 하기전에 피험자가 지나가는 위치에 1m짜리 기준척을 위치시켜 촬영을 하였다. 카메라의 속도가 정상에 올라 올 수 있도록 피험자가 뷰에 포착되기 전 10m 지점에 도달했을 때 부터 카메라를 가동시켰다.

피험자의 신체 부위의 디지털이징시 오차를 줄이기 위해 관절점의 표시(landmarks)는 제5 중족지관절(metatarsal phalangeal joint), 경골의 외측과(lateral malleolus of fibula), 대퇴 외상과(lateral femorel epicondyle), 대전자(greater trochanter) 등의 4 부위에 부착했다.

3. 實驗裝備

피험자가 트랙을 달리는 동안 촬영은 모터드라이브를 장착할 수 있는 Photosonic 고속 카메라였다.

촬영된 필름을 positive로 현상하여 매 프레임 마다의 관절점에 대해 계수화(digitization)하기 위해 사용된 장비는 Calcomp 9100 디지털라이저와 Vanguard Projector를 이용했으며, 매 프레임의 디지털이징된 X,Y 좌표는 16bit PC로 입력되게 연결하였다. 디지털이징을 위해 사용된 소프트웨어는 DG2였다.

추출된 좌표를 이용하여 각 분절의 중심 및 질량은 Dempster (1955), Miller (1980)의 인체 측정 자료를 이용하였다.

結果 및 考察

1. 국면별 소요시간

본 연구는 100m 달리기시 최대의 속도를 보이는 40~50m 지점에서 완전한 1 stride를 고속으로

촬영하여 하지분절의 3연쇄체의 상호 작용 및 운동학적(kinematics) 및 운동역학적(kinetics) 변인인 근 모멘트를 산출하여 단거리 달리기 기록향상을 위한 방안 및 훈련과 상해예방의 기초 자료를 제공하기 위해 착수하였다.

이를 위해 스트라이드 동안 분석국면을 Fig.1과 같이 좌측발 터치다운(L-TD), 좌측발 이륙(L-OFF), 오른발 터치다운(R-TD) 및 좌측발 터치다운(L-TD)으로 구분하여 분석했다.

스트라이드 및 각 국면별 소요시간 및 비율, 총 스트라이드 길이는 Table 1 및 Fig.2와 같다.

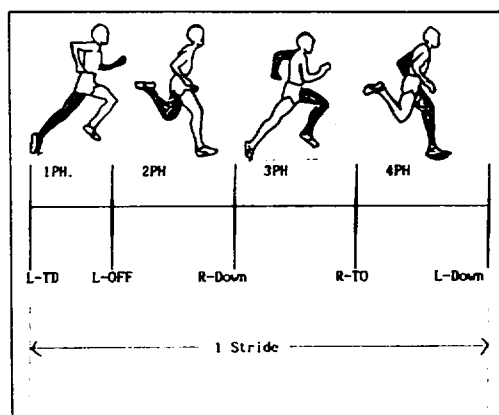


Fig.1. Analysis Phases.

Table 1. Stride length & elapsed time by phases

unit : cm, sec. () : %

subj.	stride len.	1 Phase	2 Phase	3 Phase	4 Phase	TOT.
subj. A	443.3cm	0.047 (10.02)	0.100 (21.32)	0.133 (28.35)	0.188 (40.08)	0.469
subj. B	453 cm	0.047 (10.37)	0.141 (31.12)	0.125 (27.59)	0.140 (30.90)	0.453

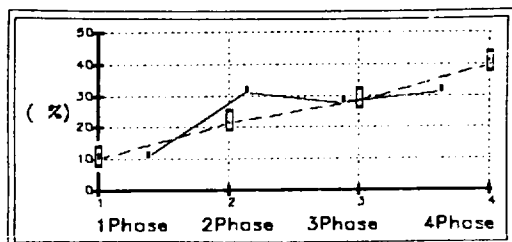


Fig.2. Percent of elapsed time by Phases.

Table 1과 Fig.2에서 보는 바와 같이 피험자 A는 총 스트라이드 길이가 443.3cm, 피험자 B는 453cm로서 피험자 B의 경우가 10.03cm 더 긴 스트라이드를 보였다. 피험자 A의 경우 총 소요시간은 0.469초, 피험자 B의 경우는 0.453초를 각각 보였으며, 각 국면별 소요시간은 피험자 A의 경우 제4국면인 제2 터치다운기에서 40.08%, 오

른발 이륙기는 28.35%를 보여 오른발 이륙시에서 왼발 터치다운기까지의 소요시간 비율이 거의 70%를 차지한 것으로 보아 이때의 왼발의 하퇴의 굴곡된 상태에서 신전하는 소요시간이 다소 지체됨을 알 수 있다. 한편 피험자 B의 경우 왼발 터치다운기에서 30.90%, 오른발 이륙시 27.59%, 왼발 스윙기에서 31.12%를 각각 소요하였다. 이를 볼 때 피험자 B의 경우는 제 2국면인 왼발의 공중에서 스윙하는 시간이 더 많이 소요했음을 알 수 있고, 추진기에서 대퇴의 굴곡하는 속도가 다소 더 느림을 알 수 있다. 반면 제2 왼발 터치다운기에서 피험자 A의 경우보다 하퇴의 신전하는 속도가 더 빠름을 알 수 있다. 이러한 결과는 Dillman(1971)의 경우 모든 국면에서 소요 시간의 비율이 거의 차이가 없는 것을 볼 때 본 연구의 결과와는 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 오히려 본 연구의 피험자 A의 경우 시간이 경과함에 따라서 더 많은 소모가 되는 현상보다 제 1,3국면의 소요시간이 거의 같은 수준일 때 힘의 안배를 잘하는 것으로 생각되며, 이는 각각의 발이 추진하는 국면으로서 다음 착지 단계까지 힘을 발휘하는 국면이기 때문이다.

2. 운동화적인 변인

본 연구에서 운동학적 변인은 발, 하퇴, 대퇴의 각 분절에 대한 변위, 각속도, 각 가속도, 각 분절의 중심에 대한 수평, 수직 속도 및 가속도 요인으로 구성되었다.

1) 신체 중심의 속도(C.O.G.)

달리기시 하지분절의 속도변화는 처음 지면을 이륙하는 국면, 공중국면, 오른발 터치다운국면, 다시 공중국면, 왼발이 착지하는 국면으로 구분하여 분석할 수 있다. 즉 공중국면에서의 관성모멘트(moment of inertia)를 감소시키기 위해서는 가능한 발, 하퇴, 대퇴의 빠른 굴곡작용을 하여야 하며, 탄도국면(ballistic phase)을 더 많이 갖는 것이 더 효율적이다(Winter, 1973).

1. Stride 동안 두 피험자의 신체 중심의 수평, 수직속도 변화과정은 Fig.3,4와 같이 피험자 B의

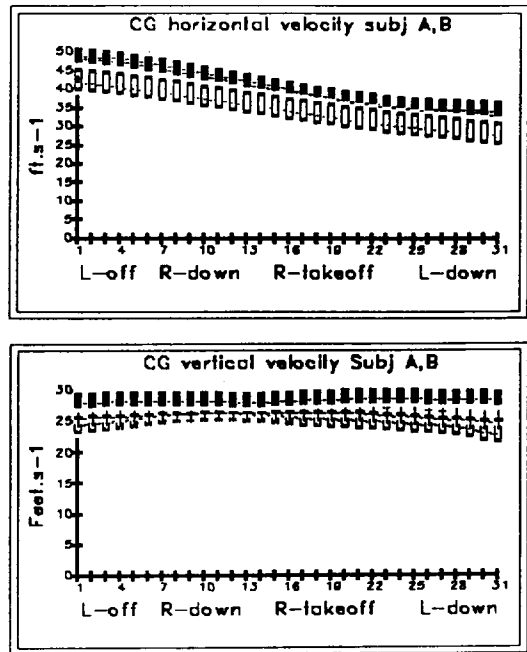


Fig. 3, 4. CG vertical & horizontal velocity.

경우가 다른 피험자의 궤적에 비해 약간 더 높은 것을 알 수 있다. 즉 좌측발의 이륙시 부터 마지막 터치 다운 지점까지의 변화는 점점 더 낮아지는 수평속도를 보였다. 즉 피험자 B의 경우 지면으로 부터 좌측발이 이륙하면서 부터 약 50ft.s-1의 속도를 보이면서 점차 감소하여 마지막 좌측발의 터치 다운지점에서는 거의 40ft.s-1로 감소함을 알 수 있다. 피험자 A의 경우는 45ft.s-1의 속도로 시작하여 점차 감소하는 현상을 보이다가 마지막 좌측발이 지면에 이륙하는 국면에서는 50cm의 수직위치에서 각각 마지막 터치다운 지점에서는 30ft.s-1의 속도로 감소하여 감을 알 수 있다.

이러한 두 피험자의 중심속도는 처음 좌측발의 이지부터 시작하여 오른발 터치다운 지점까지는 점점 감소하여 왼발의 굴곡된 상태에서 다시 신전되면서 전방으로 추진하는 국면으로서 공중국면이(air phase) 포물선의 모양이 되어야 함이 바람직하다.

한편 수직속도의 경우 두 피험자 모두 신체 중심의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 피험자 A의 경우 오른발의 이지 순간 부터 약간의 증가

Table 2. Min. & Max. of each joint variables

Variables	Subject A				Subject B	
	Joints	Unit	Min	Max.	Min.	Max.
Horizontal velocity	foot	ft.s-1	-1.79	50.94	3.39	56.94
	shank		10.00	44.81	8.80	43.73
	thigh		21.63	37.23	22.93	34.87
Vertical velocity	foot	ft.s-1	-11.52	20.54	-11.84	20.03
	shank		-11.03	5.63	-9.92	9.15
	thigh		-4.02	6.63	-6.16	3.17
Horizontal acceleration	foot	ft.s-2	-507	438	-393	454
	shank		-365	225	-246	208
	thigh		-116	115	-135	105
Vertical acceleration	foot	ft.s-2	-372	274.00	-413.00	217.00
	shank		-116	11.70	-147.00	24.02
	thigh		-116	126.54	-151.00	157.30
Angular displacement	foot	rad	20	150	9.46	162
	shank		4	97	7	100
	thigh		75	155	60	150
Angular velocity	foot	rad.s-1	26.45	17.70	19.13	26.77
	shank		-16.24	12.82	-16.24	12.56
	thigh		-10.55	10.32	-14.23	13.44
Angular acceleration	foot	rad.s-2	-505	160	-674	309
	shank		-291	286	-253	235
	thigh		-194	205	-275	99
Muscular resultant moment	foot	lb-ft	-316	139	-539	138
	shank		-372	214	-546	180
	thigh		-679	288	-236	355

하는 양상을 보이지만 다시 왼발이 터치다운하면서 감소하는 양상을 보였다. 이러한 신체 중심에 대한 속도의 값은 Winter (1973), Dillman (1971) 및 Plagenhoef (1971), 박 (1986), 류 (1986)의 결과와 약간의 차이는 있지만 전체적인 패턴은 비슷함을 알 수 있다.

2) 각 분절의 속도 변인

최대 수평 속도의 유발이나 특성에는 내외력 (internal & external force)들간의 적결한 상호 관계가 매우 중요하다. 즉 분절 상호간의 협응 작용으로 인해 전신중심의 이동을 하게되고 (Mann, 1980; Dillman, 1971)이 중심 이동의 속도 역시 하지분절의 상호 근군의 작용의 결과라 할 수 있다.

본 연구 결과 추출된 수평, 수직 속도변인은 Table 2 및 Fig.5,6과 같다. 표와 그림에서 알 수

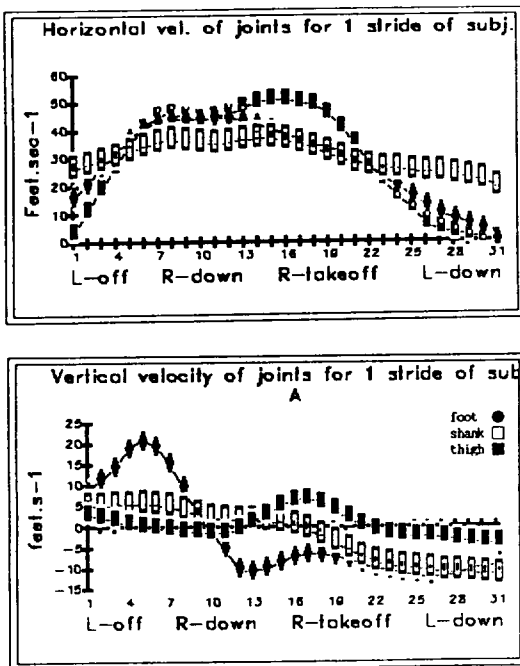


Fig. 5.6. Horizontal & vertical velocity of joints for subj. A.

있듯이 수평속도의 경우 한번의 stride동안 최대치는 발이 피험자 B의 경우 56.94ft.s-1, 최소치는

피험자 A의 경우로서 -1.79ft.s-1로 나타났다. 전체적인 패턴은 피험자 A의 경우 왼발이 이륙할 때 발의 수평속도가 3.45ft.s-1, 하퇴가 16.7ft.s-1, 대퇴가 26.5ft.s-1로 각각 나타났다. 이륙후 모든 분절 중심의 수평속도는 급격히 증가하는 양상을 보였으나, 대퇴의 경우 완만한 증가현상을 보였다. 발의 경우 L-off시 가장 적은 수평속도의 패턴을 보이다가 급격한 증가를 하다가 R-take 국면에 도달하여 51 ft.s-1의 크기로 모든 분절중 가장 큰 값을 보였다. 즉 오른발이 이륙할 때 왼발이 추진기가 되어 급격히 하지를 가속시키기 위한 방편으로 대퇴의 굴곡, 하퇴의 굴곡 및 발의 전방으로 신전작용을 한 것으로 사료된다.

한편 하퇴의 경우 발의 경우 보다 수평속도가 피크치에 이르는 시간이 다소 빠른 것으로 나타났다. 즉 발이 R-takeoff시의 이전 국면인 R-down 시기에 나타난 것은 신체가 공중국면에 존재할 때 및 오른발이 터치다운 할 순간 각각의 하지가 반대로 굴곡, 신전하는 시기로서 하퇴를 과신전 시킨 것으로 사료된다.

대퇴의 경우 수평속도의 변화가 가장 완만한 곡선형태를 보였다. 즉 그림에서 알 수 있듯이 처음 L-off시 부터 R-down 시기까지 약간의 증가폭이 있으나 그 이후는 약간씩 수평속도가 감소하는 양상을 보였다. 이러한 현상을 볼때 L-off시는 왼발이 지면을 이륙하여 공중국면에 진입하기 위한 단계로서 굴곡국면이 되는 데 피험자 A의 경우는 대퇴를 굴곡시키는 속도가 더 빠름을 볼 때 R-down 시기에 신체 중심을 더 빠르게 지지발 중심을 지나게 할 수 있다고 사료된다.

반면 하퇴와 발의 경우 마지막 L-down 시기에 속도가 급격히 감소하는 현상을 보인 반면 대퇴의 경우는 큰 변화를 보이지 않았다. 이 현상은 하퇴와 발의 경우 착지를 위해 신전작용을 급격히 하고 대퇴의 경우 하퇴와 발의 중심을 경과하지 못하여 결국 신체가 후방으로 경사를 이루는 자세를 유지하는 것으로 사료된다. 이러한 자세는 결국 유체저항을 많이 받고, 관성모멘트 역시 커져서 바람직하지 못한 현상 (Dillman, 1971)으로 나타났다.

한편 수직속도에서 최대치는 발이 피험자 A의

20.54ft.s⁻¹, 최소치는 -11.84ft.s⁻¹로 각각 나타났고, 하퇴의 경우는 최대치가 피험자 B의 경우 9.15ft.s⁻¹, 최소치는 -11.03ft.s⁻¹ 및 대퇴의 피험자 A의 6.63ft.s⁻¹, 피험자 B의 -6.16ft.s⁻¹로서 각각 최대 최소치를 보였다. 그림에서 발의 경우 좌측발이 지면을 이륙하여 전방으로 추진하는 과정에서 급격히 증가현상을 보였으나 다시 오른발이 지면에 착지하는 순간부터 급격한 감소를 보이다가 마지막 L-down 국면에서 좌측발이 지면에 착지하는 양상을 보였다. 반면 하퇴 및 대퇴의 경우는 발의 수직속도와 비교할 때 현저히 더 낮은 값을 보였다. 즉 하퇴의 경우 L-off시 부터 R-down 국면까지 거의 변화를 보이지 않다가 R-takeoff 시기부터 마지막 L-down 시기까지 완만한 감소현상을 보였다.

이와는 달리 대퇴의 경우 처음 국면인 L-off 시기에 하퇴의 경우 보다 더 적은 수직속도 값을 보였으나 R-down 시기 부터 오히려 완만한 증가현상을 보이면서 하퇴와는 반대현상을 보였다. 이는 다시 R-takeoff시기 부터 거의 "0"값 이하로 감소하였다. 이러한 대퇴의 수직속도 패턴은 처음 L-off시 하지의 탄도기를 가지므로서 관성모멘트(moment of inertia)를 감소시킨다는 의미에서 바람직하다(Dillman, 1971; Winter, 1973; Mann, 1980).

3) 가속도 변인

가속도는 신체의 힘과 질량에 비례하는 요인으로서 가속도를 크게 하기 위해서는 달릴때 하지 근육군의 폭발적인 수축작용이 중요하다. 이 가속도는 속도의 증가 현상을 설명하는 가장 중요한 변수이다. 예로서 대퇴신근 및 글근군의 근 모멘트(resultant muscular moment)가 최대 수평속도 유발에 매우 중요한 요인이 된다.

이러한 최대 수평속도에 도달하기 위해서는 하지의 근군의 순발력으로서 더 강한 힘을 발휘해야 가속이 발생한다. 따라서 단거리 달리기에서 추진력과 가속도 요인은 더욱 중요한 요인이다(이, 1986).

본 연구에서 1 스트라이드 동안 피험자 A의 수직, 수평가속도 패턴은 Table 2 및 Fig.7.8과 같

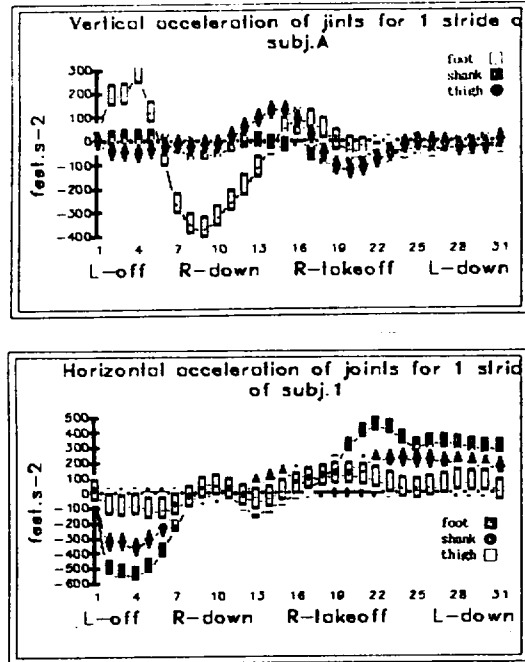


Fig. 7.8. Horizontal & vertical acceleration of joints for 1 stride of subj. A.

다. 표와 그림에서 알 수 있듯이 최대 수직 가속도는 발의 경우 피험자 A의 274ft.s⁻², 최소치가 피험자 A의 -372ft.s⁻²였고, 하퇴의 경우 최대치는 피험자 B의 경우 24.02ft.s⁻², 최소치는 피험자 B의 -147ft.s⁻²로 각각 나타났다. 대퇴의 경우 피험자 B의 경우 최대치가 157ft.s⁻², 최소치는 피험자 B의 -151ft.s⁻²로 각각 나타났다. 그림을 보면 가장 큰 변화의 폭을 보인 분절은 발로서 L-off시부터 시작하여 대퇴가 굴곡을 시작하고, 하퇴가 신전하는 국면으로서 발이 전방으로 추진하는 국면(ballistic phase) 중간까지 증가 현상을 보이다가 다시 R-takeoff까지 급격한 증가를 보이면서 마지막 국면에서 거의 "0"에 가까운 값을 유지하는 것으로 나타났다. 한편 하퇴의 경우 R-down 시점까지는 수직 가속도의 변화가 거의 없는 상태로 유지하다가 R-takeoff시 0이하로 감소하는 양상을 보였다.

대퇴의 경우 역시 R-down 시점까지 거의 변화를 보이지 않다가 R-takeoff시에 약간 감소하는 양상을 보였다.

이와 같은 수직속도의 양상을 볼 때 좌측발이 이륙하면서 발, 하퇴, 대퇴 순서의 크기로 값을 보일 때 정상적인 분절 상호간 파워 전이(power transfer)가 일어난다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 발의 경우가 가장 큰 가속도의 변화 폭과 값을 보였고, 그 다음 대퇴, 하퇴의 순서임을 볼 때 왼발의 이륙시 잘못된 분절간의 협응으로 인해 각 분절의 힘을 발휘하는 순서가 잘못된 것으로 사료된다.

오른 발이 터치 다운 할 때 신체 중심이 오른발 중심을 빠르게 지나가는 것이 중요하다. 이 때는 발의 가속이 감소하게 되는 데 이 감소하는 쪽이 적을수록 신체중심의 오른발 중심을 더 빠르게 지날 수 있다(Winter, 1973; Dillman, 1971).

따라서 본 연구의 경우 피험자 A가 R-down시에 더 큰 + 수직 가속도를 보일 때 더 효율적이라 할 수 있다.

하퇴와 발의 경우 왼발이 이륙할 때 수직가속도의 값이 클수록 더 효율적이다. 이유로서 하지 각 분절을 신체 중심쪽으로 가능한 가깝게, 빠르게 할수록 관성모멘트(moment of inertia)의 값을 적게 할 수 있기 때문이다.

그러나 본 연구에서는 거의 0에 가까운 값을 보이므로서 관성능률의 측면에서 비효율적이라 할 수 있다.

반면 하퇴와 대퇴가 R-down과 R-takeoff 직전에 수직속도가 약간 증가하는 양상을 보인 바 이는 왼쪽 하지 분절들이 지면에 터치 다운하기 위한 준비단계로서 대퇴, 하퇴, 발이 모두 신전하는 국면이다. 하지분절의 상하 수직가속도가 클수록 신전, 및 굴곡하는 속도가 더 빠르다는 점에서 더 능률적이라 할 수 있다.

이러한 수직 가속도의 양상 역시 값에서 약간의 차이를 보이지만 Winter (1973), Dillman (1971), Mann(1980) 등의 것과 비슷한 양상을 보였다.

한편 수평가속도의 경우 최대의 값을 보인 경우는 발이 피험자 B의 454ft.s-2, 최소는 피험자 A의 -507ft.s-2였고, 하퇴의 경우 최대값은 피험자 A의 225ft.s-2, 최소는 피험자 A의 -365ft.s-2로 나타났다. 대퇴의 경우 최대값을 보인 경우는 피험자 A의 115ft.s-2 및 최소가 피험자 B의 -

135ft.s-2로 각각 나타났다.

그림에서 보면 수평속도의 경우 수직 가속도의 경우와 증감하는 곡선형태가 서로 반대의 양상을 보였다. 즉 왼발이 이륙할 때 추진하는 발의 가속도가 매우 느림을 알 수 있고 다시 R-takeoff시의 양의 방향으로 증가하는 양상을 보였다.

즉 발의 경우가 변화의 폭이 가장 큰 분절로서 처음 "-" 방향에서 R-down저점으로 진전됨에 따라서 양의 방향으로 증가하여 R-takeoff까지 거의 변화가 없다가 R-takeoff 이후 부터 급격히 증가하는 양상을 보였다. 즉 L-off시 -방향 수직가속도는 모든 분절이 굴곡하여 신체 중심을 향하여 거리를 짧게하여 탄도기를 형성하기 위한 준비기, R-down부터 R-takeoff까지는 탄도기(ballistic phase)를 형성하고 다시 3분절 연속체가 신전기가 됨에 따라서 수평가속도가 증가하는 것으로 나타났다.

4) 각변위 (angular displacement)

하지의 절대각위(absolute angle)는 하지 각 분절의 근근의 굴곡 및 신전의 정도를 파악하고, 이를 통해 근근의 활동을 정량화 할 수 있는 매우 중요한 변인이 된다. 즉 순간 순간의 지배근 그룹(dominant muscle group)과 근 모멘트(resultant muscular moment)의 양상을 파악하는 데 절대적인 요인이 된다(Plagenhoef, 1971; Dillman, 1971).

본 연구에서 각위는 하지 분절들이 갖는 절대각위로서 근모멘트를 산출하기 위한 기초 자료로서 필요했다. Table 2 및 Fig.9에서 알 수 있듯이

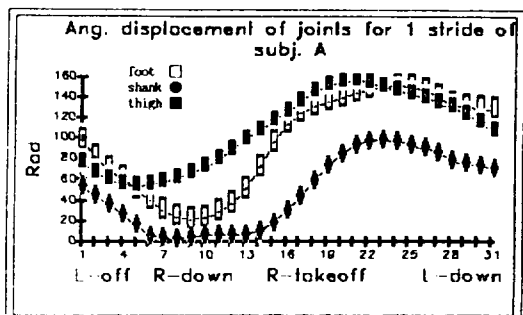


Fig. 9. Angular displacement of joints for 1 stride of subj. A.

완전한 1 스트라이드 동안 최대의 각 변위를 보인 경우 발에서 피험자 B의 162Rad, 최소는 피험자 B의 9.46Rad, 하퇴의 경우 피험자 B의 100Rad, 최소는 피험자 A의 4Rad으로 각각 나타났다. 대퇴의 경우 피험자 A의 경우 최대치가 155Rad, 최소치는 피험자 B의 60Rad이었다. 그림에서 볼 때 피험자 A의 각변위 양상은 처음 L-off시에 발의 각도는 처음 100Rad에서 R-down시에 거의 20Rad까지 감소하여 다시 R-takeoff 이후까지 계속 급격한 증가를 보이다가 L-down시기에 굴곡을 하는 경향을 보였다. 즉 이러한 발의 각도 변화 양상은 처음 L-off에서 이륙하면서 탄도기를 준비 하는 과정에서 굴곡하는 양상을 보였고, 다시 탄도기가 지나서 지면에 착지를 준비하기 위해 다시 신전을 하는 것으로 나타났다.

하퇴의 경우 역시 발과 비슷한 양상을 보였지만 신전, 굴곡하는 크기가 다르게 나타났다. 즉 R-down 직전에 탄도기가 시작되면서 최소의 값을 보인 바, 이는 최대로 하퇴를 굴곡한 현상인 것으로 사료된다. 이 탄도기가 R-takeoff 직전까지 계속되다가 공중국면에서 착지를 위해 다시 하퇴를 신전시키는 것으로 나타났다. 이 그림에서 피험자 A의 경우 지면에 착지를 하는 동안 체중으로 인해 주저앉음(collapse) 현상을 보였다. 즉 하퇴의 R-takeoff 이후 다른 분절과 비교할 때 상당히 적은 각을 유지한 것으로 볼때 완전한 착지를 하지 못하는 것으로 나타났다.

대퇴의 경우 원발이 이륙하면서 서서히 굴곡을 시작하여 R-down지점에 와서부터 다시 신전을 시작하여 R-takeoff지점에서는 완전히 신전을 한 것으로 사료되며, 이러한 대퇴의 굴신작용(flexion & flexion)을 볼 때 이 피험자는 완전히 굴곡하여 가능한 관성모멘트를 감소시키는 작용을 하지 못하는 것을 알 수 있다.

이러한 각변위 양상은 Dillman (1971), Winter (1973), Plagenhoef (1971),朴(1986), 류(1986), 권(1986)의 결과와 거의 같은 양상을 보이지만 대퇴의 굴곡 및 신전의 정도에서 약간 차이를 보였다.

5) 속도 및 가속도

각 속도 요인은 하지 각 분절의 신전, 굴곡하는 속도를 말하는 것으로서 본 연구의 각속도 요인은 Table.2 및 Fig.10과 같다. 즉 발의 경우 최대 각

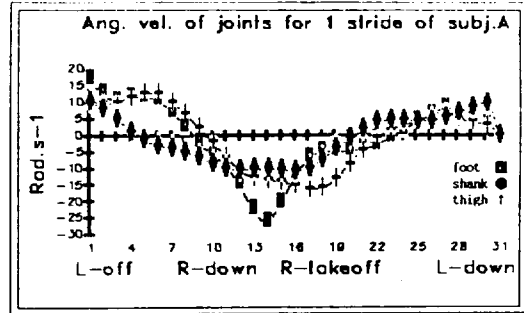


Fig. 10. Angular velocity of joints for 1 stride of subj. A.

속도를 보인 경우는 피험자 B로서 26.77rad.s⁻¹, 최소는 피험자 B의 19.13rad.s⁻¹로 나타났다. 하퇴의 경우는 피험자 A의 경우 최대가 12.82rad.s⁻¹, 최소는 -16.24rad.s⁻¹, 대퇴의 경우 피험자 B의 13.44rad.s⁻¹, 최소가 -14.23rad.s⁻¹로 각각 나타났다.

전체적인 패턴은 그림에서의 같이 발의 경우 피크치를 이루는 지점 주위가 탄도페이스를 의미하고 이 때 하퇴, 대퇴 모두 굴곡이 심한 상태를 나타냈다. 이는 하퇴, 대퇴가 이루는 각도가 가장 적을 때를 말하며, 따라서 하지분절이 받는 저항이 가장 적을 때이다. 즉 관성모멘트가(moment of inertia)가 최소가 되는 지점으로서 가능한 이러한 특성을 많이 갖는 경우가 달리기에서 더 효율적이라 할 수 있다(Dillman, 1971). 그림에서 알 수 있듯이 발의 경우가 탄도기를 가장 먼저한 것으로 나타났고 그 다음 하퇴, 대퇴의 순서로 각각 나타났다. 즉 L-off에서 부터 발과 대퇴의 경우는 약간 증가하는 각위를 보이다가 R-down 시점에서 부터 급격한 감소 현상을 보여 발은 R-takeoff 직전에서 탄도기를 형성하고 대퇴의 경우는 R-takeoff기가 거의 끝날 무렵에 탄도기를 형성하는 것으로 나타났다. 하퇴의 경우는 대퇴와 거의 같은 시각에 탄도기를 형성하여 하퇴와 대퇴의 협동동작이 제대로 이루어 지지 않음을 알 수 있다. 즉 선행연구(Dillman, 1971; Winter, 1973;

Plagenhoef, 1971; 류, 1986; 권, 1986)의 경우는 대퇴와 하퇴의 탄도기 형성에서 뚜렷한 차를 보인 반면 본 연구의 경우는 거의 동시에 일어난다고 있음을 알 수 있다.

각 가속도의 경우는 Fig.11과 같으며 각 가속도의 패턴은 하퇴 대퇴의 경우 변화의 빈도가 많은 것으로 나타났고, 발의 경우 탄도기에서 급격한 변화의 양상을 나타냈다. 본 연구의 각가속도의 곡선의 경우 불규칙한 변화의 곡선으로 인해 해석이 난이하다. 따라서 추후 연구에서 더 심도있고, 오차가 없는 해석을 내리기 위한 연구를 해야 할 것으로 보인다.

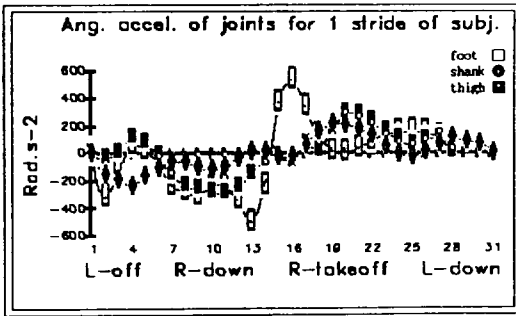


Fig.11. Angular acc. of joints for 1 stride of subj. A.

3. 운동역학적 변인

링크(linked system)를 형성하는 이웃 분절 사이에는 상호 반작용력이 존재하며 그 주위에 분포

된 근육이 적절한 신경 자극에 의해 수축되어 근력이 발휘된다. 또한 분절사이에는 에너지의 교류가 존재하며(Cavanagh, 1972) 하지 분절 근육군의 기능적 중요성 파악은 근모멘트, 파워(mechanical power), 에너지 발현, 흡수, 전기 등을 통해서만 가능하다(Winter, 1973).

제일 먼저 하지 분절의 근모멘트를 산출한 연구는 Fenn(1930)으로서 달리기 도중 하지가 행한 일을 수학적으로 계산한 이래 근육이 발휘하는 토크의 크기를 정량점으로 계산하는 방법을 개발하였다.

Cavanagh(1972)은 달리기시 전신의 위치에너지(potential energy)와 운동에너지(kinetic energy)를 각각 산출하였다. 최근에 와서는 주로 달리기 중 하지에서 발현되는 근모멘트(Dillman, 1971; Mann, 1980; 류, 1986; 권, 1986)를 연구하는 추세가 되어 왔다.

이렇게 구하여진 근모멘트를 바탕으로 분절의 우위근군(dominant muscle group)을 밝혀 분절 회전 속도, 근육군의 수축유형 등이 파악되어질 수 있다. 특히 이러한 자료는 웨이트 트레이닝에 직접적으로 응용되어 질 수 있는 중요한 변인이다.

달리기와 같은 2차원 운동에서는 산출된 근모멘트로 부터 활동 우위근군을 규명할 수 있는데, 하지는 굴곡과 신전운동으로 반복하므로 우위근군 역시 굴근군과 신근군의 두 그룹으로 분류될 수 있다. 즉 아래 도표와 같이 근모멘트와 해당 우위근군과의 관계를 정리한 것이다.

근 모 멘 트	Ankle 발의 근위단	Knee 하퇴의 근위단	Hip 대퇴근위단
+	배 측 굴 근 군	신 근 군	굴 근 군
-	저 측 굴 근 군	굴 근 군	신 근 군

즉 모든 근모멘트가 +우위에서 -우위로 될 때 하퇴굴곡기의 우위근군은 배측 굴근군 슬신근 고굴신근 들이며 대퇴굴곡기에는 이들 근군으로부터 저측굴근군, 슬근군, 고신전근군으로의 우위근군 전이가 발생하며 이들 근군이 지면에 터치

한 준비기의 우위근군이 된다.

본 연구에서 근모멘트의 패턴 및 크기는 Table 2 및 Fig.12와 같다. 최대의 근모멘트를 보인 발의 경우는 피험자 A의 경우 139 lb-ft, 최소값을 보인 경우는 -539 lb-ft로 나타났고, 하퇴의 경우

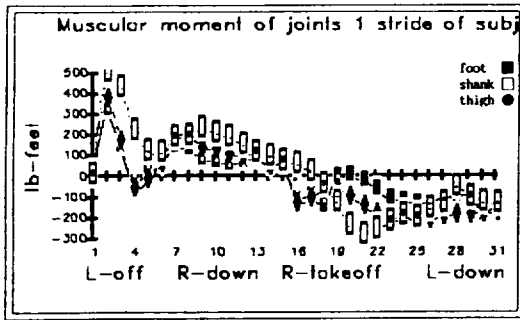


Fig. 12. Resultant muscular moment pattern.

는 피험자 A의 경우 최대가 214 lb-ft, 최소가 -546 lb-ft 대퇴의 경우 최대가 355 lb-ft, 최소가 -679 lb-ft로 각각 나타났다.

그림에서 보면 슬신근군 고굴근군 및 배측굴근군의 순서로 크기를 보였다. 스트라이드가 진행됨에 따라서 각 슬, 고, 배측쪽관절의 모멘트는 류(1986)의 연구결과와 비교할 때 우위근군이 변화하여 가는 양상은 비슷했지만 반대 우위근군으로 변화하여 가는 시점과 크기에서 차이를 발견할 수 있다.

따라서 추후 연구할 때는 근 모멘트를 위주로 심도있게 연구하여 선수들의 과학적인 훈련의 프로그램 작성을 위한 방안을 제시하여 달리기 경기력을 향상시킬 수 있는 더 많은 자료를 제시하려 한다.

摘 要

본 연구는 달리기시 하지 3분절 연쇄체가 상호 작용하여 나온 운동학적, 운동 역학적 변인을 분석하여 현장 훈련에 적용할 수 있는 자료로 삼기 위해 착수하였다. 이를 위해 본 연구의 피험자는 국가대표급 선수 2명을 대상으로 고속카메라를 이용하여 2차원적인 영상분석을 실시하였고 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 신체중심의 속도에서 L-off 시점에서 마지막 L-down까지의 페턴이 수직, 수평 속도에서 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

2. 분절의 수평속도 및 수직 속도의 경우 선행 연구의 것 보다 더 큰값을 가졌으며, 이는 처음

국면의 이륙 속도가 더 빨랐음을 의미한다.

3. 가속도 곡선을 볼 때 하지의 각 분절들의 근육이 발휘하는 순서에서 협응동작이 잘 되지 못한 것으로 나타났다. 따라서 발 하지 대퇴의 순서로 근 발휘하는 능력을 키워야 한다.

4. 각변위 및 각속도에서 대퇴의 굴곡정도가 약함으로 인해 탄도기를 더 격게 가졌고, 분절 상호간 협응적인 동작이 서툰 것으로 나타났다. 따라서 관성모멘트를 크게하여 결국 속도를 느리게 할 수 있다.

각 속도의 경우 하지 분절의 불협응으로 인해 탄도기가 되는 시점이 정상적이지 못했다. 즉 대퇴의 굴곡하는 속도가 제1번 하퇴가 2번 발의 경우가 3번째의 크기로 각속도가 발현될 때 바람직하다.

5. 근 모멘트에서 하퇴 대퇴 발의 순서로 슬굴근 고굴근 배측굴근으로 나타난 바 가장 바람직한 형은 고굴근 슬굴근 배측굴근으로 나타나야 한다.

參 考 文 獻

- Brandell, B.R. 1973. An analysis of muscle coordination in walking and running gait, *Biomechanics*, III, 8, 278~287.
- Campbell, D.E. 1979. Generation of horse power at low and high velocity by sprinter and distance runner, *Research Quarterly*, 50, 1~8.
- Cavanagh, P.R. 1972. Pattern of muscular action and movement associated with the range of speed used in normal human locomotion, pp.137~143.
- Dempster, W.K. 1955. Space requirements of the seated operator, *WADC Technical Report*, 55~159.
- Dillman, C. J. 1971. Kinetic analysis of the recovery leg during sprint running, *Selected Topic in Biomechanics*, 137~165.
- Fenn, W.O. 1930. Work against gravity and work due to velocity change in running,

- American Journal of Physiology*, 93, 433~462.
- 權寧厚, 1986. 수영중 누적되는 근 피로가 400m
短距離 달리의 力學에 미치는 影響, 서울大學
校 大學院, 碩士學位論文, pp.7~29.
- 李昌俊, 1986. 陸上競技 sprinter의 推進力에 關한
研究, 濟州大學校 論文集, 22, 217~219.
- Mann, R.V. 1986. A kinetic analysis of the
ground leg during sprint running, *Research
Quarterly for Exercise and Sport*, 51, 334~348.
- Miller, D.I. 1980. Body segments contributions
to sports skill performance : Two contrasting
approching, *Research Quarterly for Exercise and
Sport*, 51, 219~230.
- 朴成淳, 1986. 速度 變化에 따른 人體 移動運動의
生體力學的 分析, 서울大學校 大學院, 博士學位
論文, pp.78~104.
- Plagenhoef, S.C. 1971. *Pattern of human motion*,
Prentice Hall, Englewood Cliffs, pp. 4~12
- 柳在青, 1986. 短距離 달리의 生體力學的 分析,
서울大學校 大學院 碩士學位論文, pp.39~78
- Winter, D. A. 1973. *Biomechanics of human movement*. A
Wiley Interscience Publication, pp.69~73.