

## 제 3 장 육상경기의 역학 (바이오메카닉스)

### 1 육상경기의 퍼포먼스와 바이오메카닉스

#### 1) 스포츠 바이오메카닉스(역학)

육상경기의 퍼포먼스(기록)은 그라운드(지면)와 바람 등의 환경요인에 영향을 받지만, 신체의 힘과 파워의 발휘(출력)는 몸을 조작하는 기술에 큰 영향을 받는다. 이것은 일반적으로 체력과 기술로 파악되지만 육상경기는 신체운동을 통해 직접적으로 퍼포먼스가 발휘되기 때문에 신체 운동을 파악하는 퍼포먼스를 평가, 또한 운동에 대한 체력과 기술을 연구하는 것으로 생각되어진다. 이 신체 운동을 객관적으로 연구하는 방법과 지식의 축적이 스포츠 바이오메카닉스이다.

스포츠 바이오메카닉스는 인간의 생물학적 조건을 고려하면서 스포츠에 대한 신체운동을 역학적 관점에서 연구하는 스포츠 과학의 하나의 영역이다(阿江와 藤井, 2002). 생물학적 조건이란, 예를 들어, 다음과 같은 것이 있다.

- ① 신체가 몸통과 사지로 되어있고, 몸통은 신체질량의 약 50%가 있다.
- ② 골격근이 뼈에 힘을 작용하여 관절을 통해 신체의 운동이 생긴다.
- ③ 골격근은 길이-힘의 관계, 힘-속도의 관계 등 조건에 따라 발휘하는 최대 힘의 크기가 변화한다.
- ④ 인간은 다양한 정보를 감각기관으로부터 수집하여 뇌에서 처리하고 판단하며 근에 명령을 내어 운동을 표현하고 있다.

대략적으로 다루었지만, 각각의 하나가 연구 영역으로 되는 것과 같이 폭 넓고 깊이 연구하고 있기 때문에 전문적인 것은 각각의 전문 서적을 참조하십시오.

스포츠 바이오메카닉스는 과학이기 때문에 인간의 기술을 마치 로봇이 하고 있는 것처럼 연구되고 기술(표현)되어 지고 있는 경우가 있다. 그러나 진정한 바이오메카닉스 연구는 인간의 한계를 잘 음미하고 있는지 이해하고 그 지식을 운동감각에 옮겨 놓으면 어떻게 될까 그 기술을 몸에 익히기 위한 효과적인 지도법과 트레이닝방법은 무엇인지를 생각하면 도움이 될 것이다.

#### 2) 스포츠 기술의 최적화와 바이오메카닉스

육상의 기술 향상은 모두 기본 동작이기 때문에 할 수 있는지, 없는 지가 아니라 동작이 세련되어가는 과정이라고 할 수 있다. 어떤 일류 선수도 완벽히 기술을 몸에 지니고 있는 것은 아니라고 생각해야 한다. 즉, 육상의 기술은 퍼포먼스의 향상에 따라 최적화 될 것이며, 또한 선수는 컨디션이나 환경에 따라 기술을 최적화 해 나가지 않으면 안 된다. 따라서 「좋은 기술은 이렇하다」라든가 「자신의 달리는 방법이 이런 것이다」이라고 단정 지을 것이 아니라, 운동을 실시하고, 항상 피드백 및 개선(수정)을 반복하는 것이 요구되는 것이다. 이와 같은 개선의 반복을 최적화 루프라고 부른다. 좋은 기술을 지니고 있는 선수는 항상 기술의 최적화를 반복하고 있는 선수라고 할 수 있을 것이다.

그림 1은 스포츠 기술의 최적화 루프와 바이오메카닉스의 역할을 보여준 것이다(阿江과

藤井, 2002). 스포츠 기술의 개선은 현 상태를 알고 목표를 설정하는 것으로부터 시작한다. 즉, 운동의 관찰에서부터 시작하는 것이다. 동작을 관찰하기 위해서는 현재는 저렴한 도구가 많이 있다. 비디오 카메라는 물론 고속 카메라와 시판의 디지털 카메라의 기능의 하나로 준비해 주고 있다. 선수가 스스로 느끼고 코치가 눈으로 보는 것뿐만 아니라 이러한 도구를 이용하는 것도 현대 스포츠 기술 향상에 매우 중요하다.

동작의 평가와 진단이란 움직임의 어디가 좋고 어디가 나쁜 것인가를 식별하고 개선하기 위한 정보를 정리하고 어떻게 개선 할 것인지를 결정하는 것이다. 여기에서는 무엇이 좋고, 나쁜지를 판단하기 위해 종목의 기술 특징과 레벨에 맞는 기술 등의 지식이 필요하다. 더욱이, 표본이 되는 움직임, 즉 모델이 유용하다. 최근에는 표준 동작 모델이 제안되고 있으며, 유효하게 활용 될 것으로 기대되고 있다. 관찰 및 평가에 있어 손이나 발 등 부분의 상세한 움직임에서 전체적인 움직임의 느낌까지 이전 움직임이 다음 움직임에 어떻게 관련되어 있는지 등 운동학적 지식과 감성이 매우 중요하다.

개선점의 결정과 개선방법의 선택, 결정 등 실무적인 과정에서는 바이오메카닉스가 맞고 있는 역할은 작아지는 것이다. 그러나 향후 과학에 기초한 코칭에서는 보다 실천적 과정에서도 바이오메카닉스와 같은 숫자 나 문자 등의 정보를 축적하고 검증을 거듭하고, 보다 정밀도를 높여가는 것이 바람직하다.

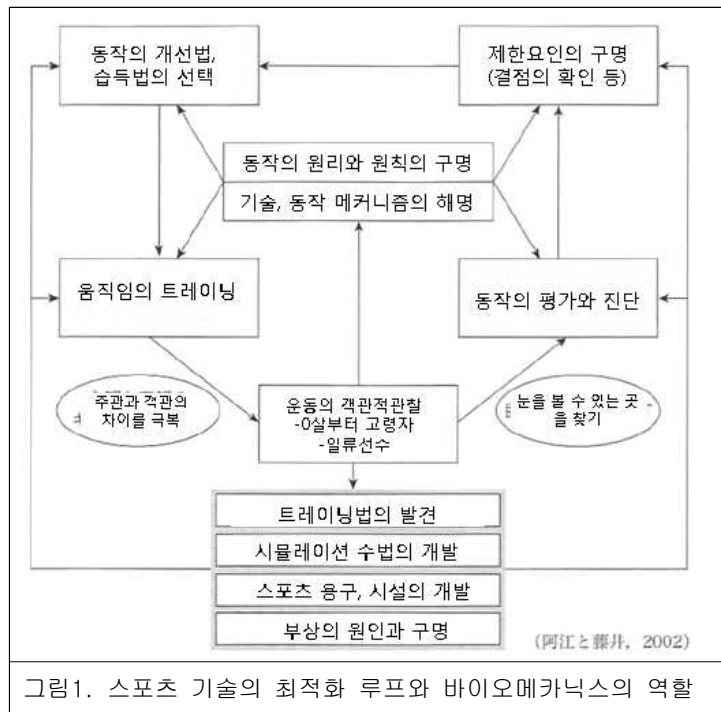


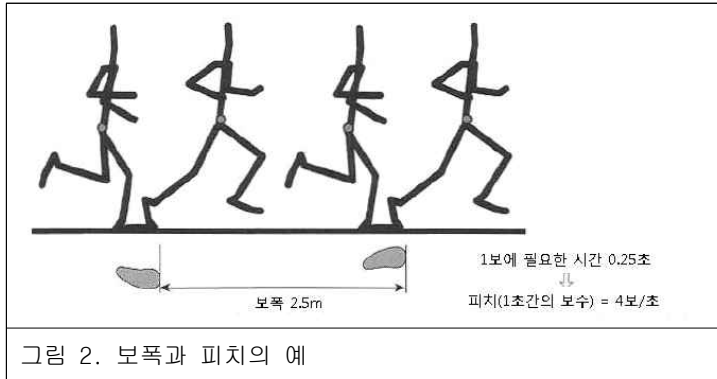
그림1. 스포츠 기술의 최적화 루프와 바이오메카닉스의 역할

## 2 달리기 운동의 바이오메카닉스

### 1) 스피드와 스트라이드(보폭), 피치

달리기 동작은 두 다리를 교대로 앞으로 접지하여 이동하고 있기 때문에 그 1보의 스트라이드(보폭)와 발을 땅에 착지하는 피치(빈도)가 달리는 스피드에 직접적인 관계를 한다(그림 2). 스트라이드와 피치의 곱은 달리는 스피드가 되기 때문에, 예를 들면, 초속 10m로 달리기 위해서는 피치가 4보/초라면, 보폭은 2.5m가 필요하게 되는 것이다. 세계 일류 단거리선수는 최고질주속도가 12m/초, 보폭이 2.5m 피치가 4.8보/초, 고교생의 톱

선수는 최고질주속도가 10.5m/ 초, 보폭이 2.2m, 피치가 4.8보/초라는 데이터가 있다.



## 2) 지면반력

달리기 운동에서 주자에게 작용하는 외력은 공기 저항과 중력, 그리고 지면으로부터 힘 뿐이며, 이 지면에서 받는 힘을 지면반력이라고 한다. 그림 3은 달리기에서 지면 반력을 나타내고 있는 것이다. 지면 반력은 방향에 따라 수직 성분과 수평 성분으로 나눌 수 있다(여기에서는 수평 전후 성분만 좌우 성분은 취급하지 않는다). 수직 성분은 접지 후 빠르게 커지고 지지기간 동안에는 양의 추치로, 중간정도에서 피크 치를 나타낸다. 이것은 몸을 위로 들게 하는 작용을 의미한다. 한편, 수평 성분은 접지 후에 음의 치를 중간 이후는 양의 값을 나타낸다. 이 때 음의 치는 몸을 수평방향으로 감속하는 작용, 양은 가속하는 작용을 의미한다.

주행속도가 증가하면 수직성분은 작용시간이 짧아 빠르게 힘이 상승하여 피크 치는 커진다. 한편, 수평 성분은 수직 성분과 마찬가지로, 작용 시간이 짧아지면 피크 값이 커지고, 음에서 양으로의 변화도 빠르게 된다(그림 4).

## 3) 하체의 움직임

하체는 고관절, 무릎 관절, 발목 관절의 3개의 관절과 허벅지, 종아리, 다리의 세 부분으로 구성되어 있다. 그것에 의해 다양한 동작이 가능해진다. 달리기 동작은 무릎 관절 및 발목 관절을 굴곡 및 신전해서 다리의 굴곡·신전 동작과 고관절의 굴곡·신전에 의한 다리 전체의 스윙 동작으로 크게 나눌 수 있다(그림 5).

그림 6은 달리는 속도의 증가에 따른 허리를 중심으로 한 발끝의 궤적을 나타낸 것이다. 다리가 지면과 접지하는 동안은 발끝은 멈춰 있지만 허리가 앞으로 밀려 나오는 분, 발끝이 뒤쪽으로 보낸 것이다. 그리고 발이 지면에서 떨어진 후에 보다 더 후방에 보내져 위쪽으로 들어 올려지고, 그리고 앞으로 흔들려 보내게 되는 것이다. 전방에서는 지면보다 약간 높이 들어 올린 후에 다시 당겨 다시 접지하는 것이다. 여기에서 주행 속도의 증가와 함께 다리의 궤적이 커지고 있는 것을 알 수 있다. 특징적인 점은 지지기의 상하의 움직임이 작아져 있는 것과 지면과 떨어진 후에 앞쪽 위로 크게 올리고,, 접지전의 당기는 포인터의 높이가 높아져 있는 점이다.

그런데 속도의 증대와 함께 발끝의 궤적은 커지고 빨라지지만, 한편으로 궤적의 내측으로 강하게 당겨지게 되는 것이다. 이것은 줄넘기를 돌 때를 상상하면 알기 만, 크게 빨리 돌리려하면 가지고 손은 줄을 원주 방향으로 움직이려고 하는 것이 아니라 중심을

향해 두 당겨해야 한다는 것이다. 뿐만 아니라 다리도 지면에서 떨어진 후 허리에 향해 강하게 끌어당기는 의식이 없으면 크게 빨리 돌지 않는다는 것을 시사하고 있는 것이다.

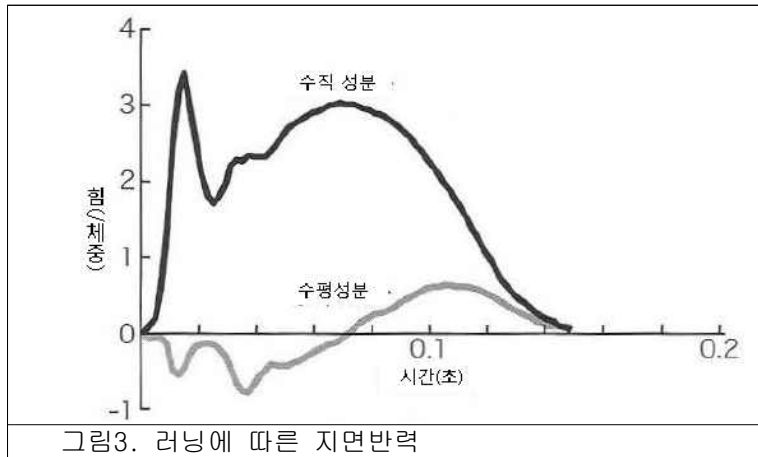


그림3. 러닝에 따른 지면반력

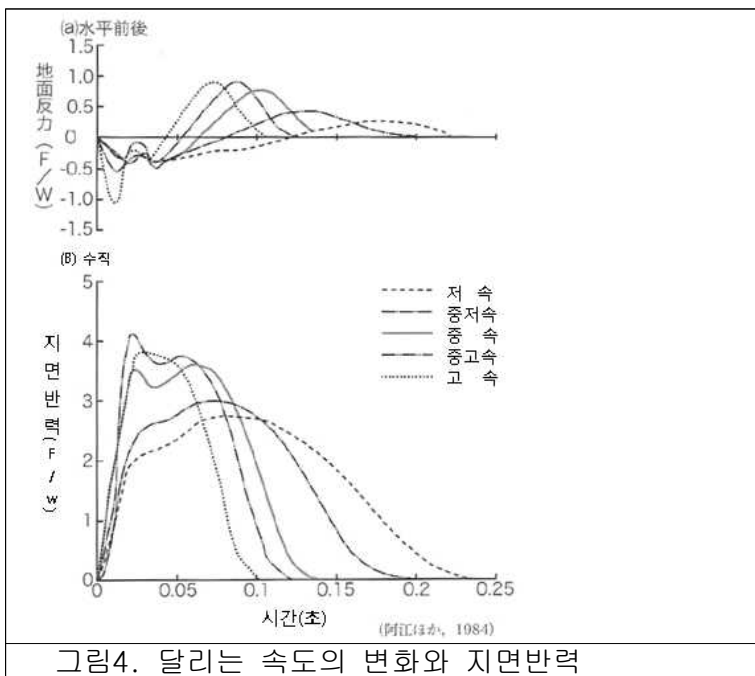


그림4. 달리는 속도의 변화와 지면반력

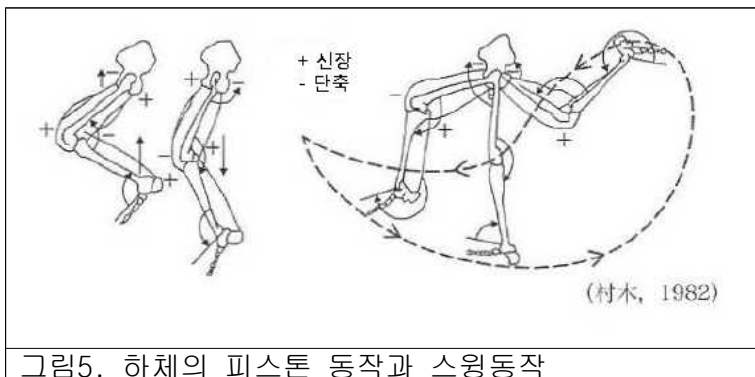
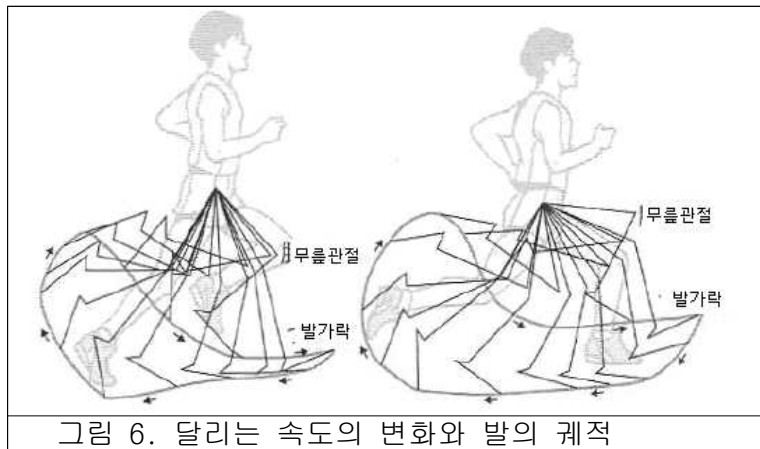


그림5. 하체의 피스톤 동작과 스윙동작



#### 4) 하지 근육의 움직임

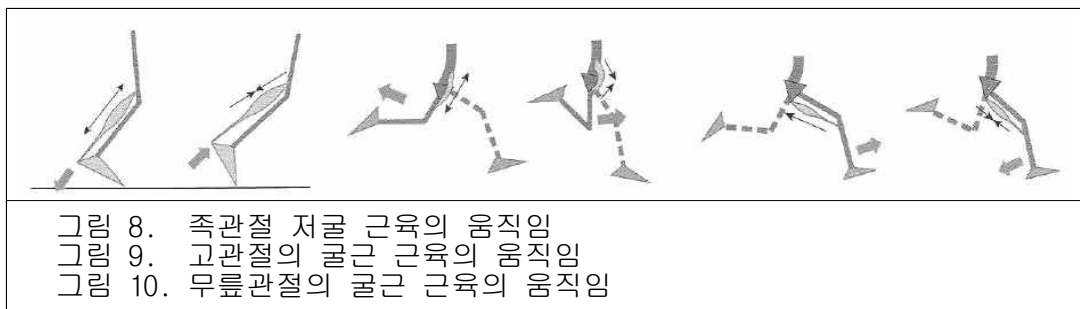
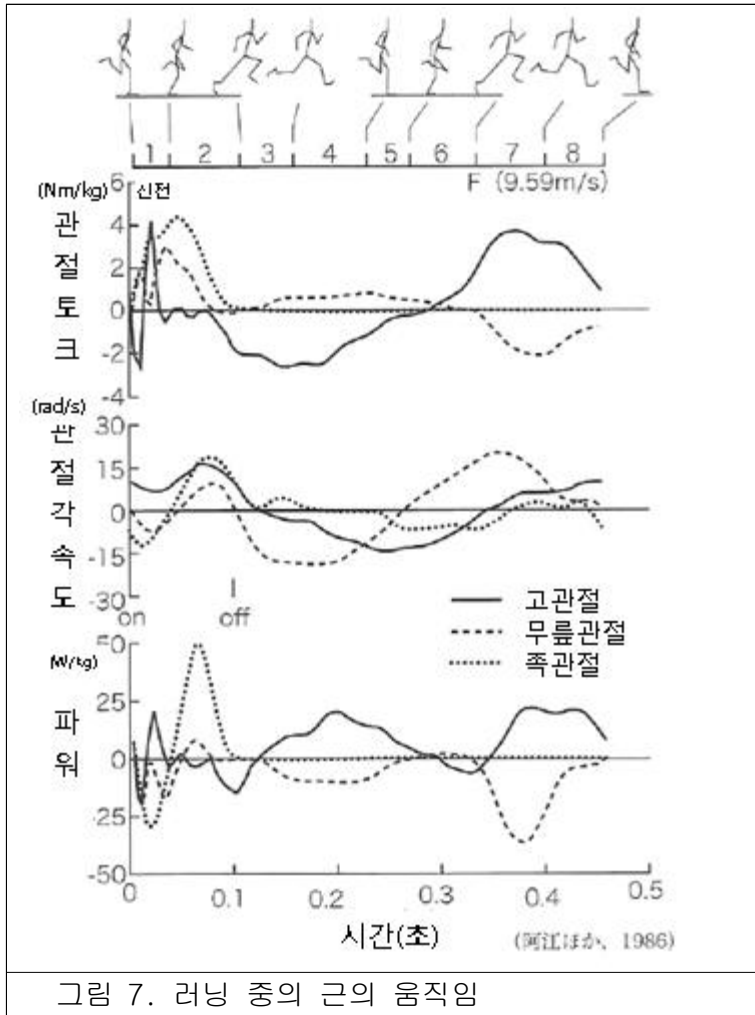
바이오메카닉스에서는 하지 근육의 움직임은 관절 주위에 작용하는 회전력으로 계산하면, 이것을 관절 토크라고 말한다. 정은 신전, 음은 굴곡 토크를 나타낸다. 또한 관절 토크와 관절 각속도의 곱을 관절 토크 파워라고 하면, 정은 주동근의 구심성 근수축 (concentric contraction)을, 부는 원심성 근수축 (eccentric contraction)을 나타낸다고 생각할 수가 있다. 이러한 관절 주위의 힘과 파워를 계산할 수 있어 움직임을 생성하는 근의 움직임을 추정할 수 있으며, 또한, 이러한 연구 결과는 기술뿐만 아니라, 체력 트레이닝에도 도움이 된다.

여기에서는 달리는 속도의 증가에 따라 증가하여 근육의 작용을 설명하고 한다(그림 7).

우선 주목하고 싶은 것은 지지기에 있어 발목관절의 굴근 근육(비복근, 히라메근 등)의 움직임이다. 발목 관절 굴근 근육은 지지기에 있어 공중에서 착지한 몸을 지탱하여 앞 방향으로 보내는 역할을 한다. 이때 다리 관절의 굴근 근육은 전반부에 원심성적인 파워를, 후반부에는 구심성적인 파워를 발휘한다(그림 8). 그러나 최근의 톱 스프린터는 발목 관절과 무릎관절의 각속도가 적고, 굴근 근육군은 큰 힘을 발휘하고 있지만, 발목관절 및 무릎관절을 고정하는 동작이 보여지고 있다.

다음으로 중요한 것은 지면에서 떨어진 후의 고관절의 굴근 근육의 움직임이다. 킥을 한 다리는 뒤로 스윙을 하지만, 고관절 굴근 근육은 그것을 멈추고, 더욱이 전방으로 대퇴를 빠르게 보내는 움직임을 한다(그림 9). 이와 같은 고관절 굴근의 움직임은 양요근이 주동근이며, 스프린터에 있어 특히 그 중요성이 지적되어지고 있다.

마지막으로 앞으로 흔들려 보낸 다리를 후방으로 흔들려 되돌릴 때 무릎 관절 굴곡근군이 발휘하는 큰 원심성 파워도 중요하다. 이때 고관절은 신전 토크를 발휘하며, 고관절 신전근육인 햄스트링과 무릎관절에도 작용하여 무릎관절의 신전을 감속하는 작용과 고관절의 신전을 가속하는 작용한다. 햄스트링은 무릎 관절과 고관절에 걸쳐 있기 때문에 이러한 파워를 크게 타이밍 좋게 발휘하기 위해서는 햄스트링이 중요한 역할을 가지고 있다고 할 수 있다(그림 10).



### 3 도약운동의 바이오메카닉스

#### 1) 신체의 위쪽 방향의 운동량의 획득 및 반동운동과 흔드는 동작

도약운동은 지면 반력에 의해 신체의 수직방향의 스피드가 커져서 중력에 저항하며 위쪽으로 뛰어오르는 것이라고 말할 수 있다. 지상 반력에 시간을 곱한 것을 힘의 축적이라고 하면, 운동량의 변화를 나타낸다. 운동량은 속도와 질량의 곱으로 계산할 수 있지만 사람의 운동의 경우 질량이 변화하지 않기 때문에 신체의 속도로 생각할 수 있다. 즉, 큰 지면 반력을 수직 방향으로 긴 시간 작용시킴으로써 더 큰 수직 방향의 스피드를 얻고, 높이 뛰어 오를 수 있는 것이다.

사람의 도약 동작에 있어 지면반력을 크게 하는 동작으로서, 반발동작과 흔드는 동작이 있다(그림 11). 반발 작용은 위쪽이 아니라 일단 아래로 움직이고, 그 움직임을 멈출 때 일어서 큰 지면 반력을 이용하여 단번에 위쪽으로 가속하는 동작으로서 힘의 상승이 커지고, 힘의 축적을 크게 할 수가 있다. 또한 근육도 한번 스트레칭 됨으로써 큰 힘을 내기 쉬워진다는 장점도 있다.

흔드는 동작은 신체의 일부를 위쪽으로 흔들 는 것에 의해 하지의 신전을 억제하는 작용이 생성되어 큰 지면반력을 받는 시간을 길게 할 수 있기 때문에, 힘의 축적이 크게 되는 것이다. 팔의 흔들 는 것과 도움닫기 다리와 반대다리의 흔들 는 것, 앞으로 기울어져있는 몸통을 일으키는 동작 등 큰 부분을 타이밍 좋게 흔들 는 것에 따라 그 효과를 얻을 수 있다. 또한 흔들 는 것을 신속하게 막는 것도 몸을 수직방향으로의 운동량을 크게 유지한 채로 공중으로 도약한 것에 역할을 한다.

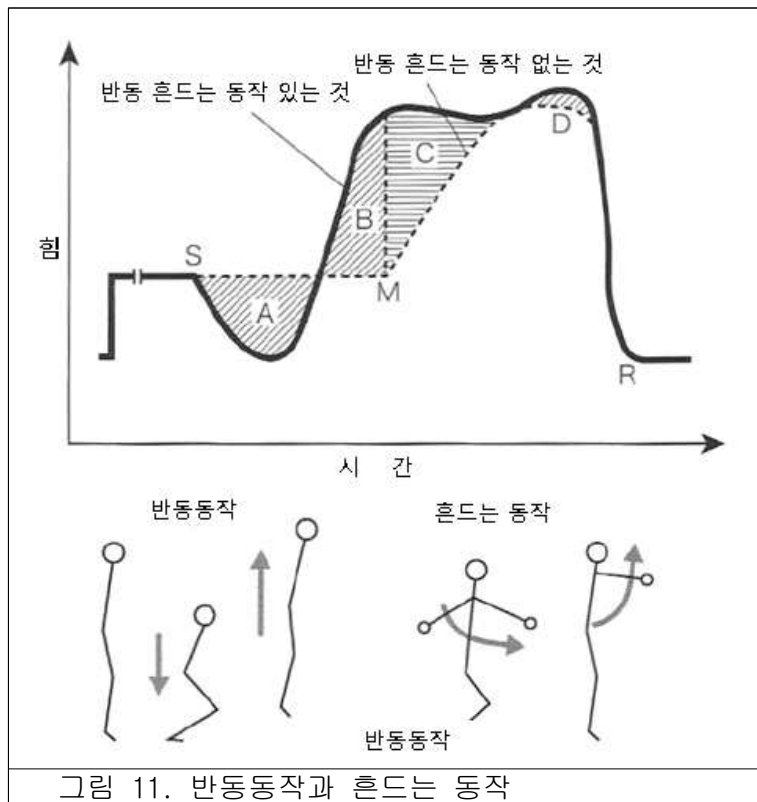


그림 11. 반동동작과 흔드는 동작

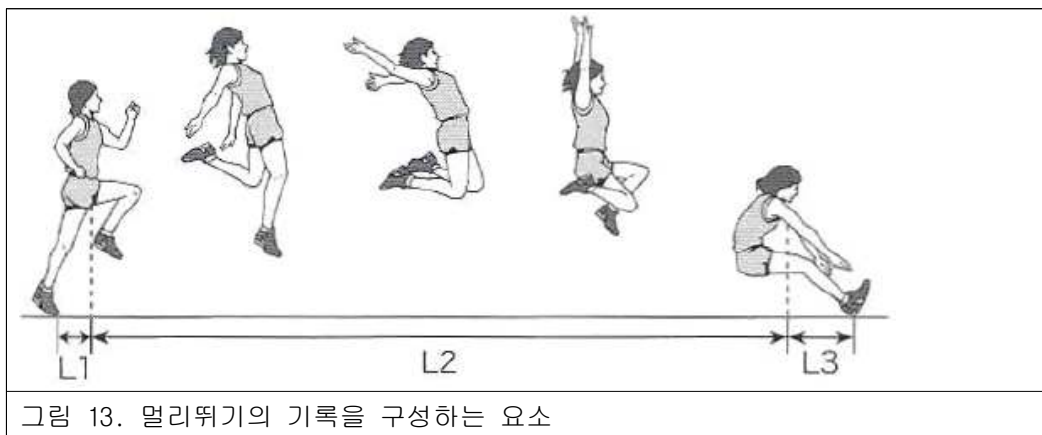
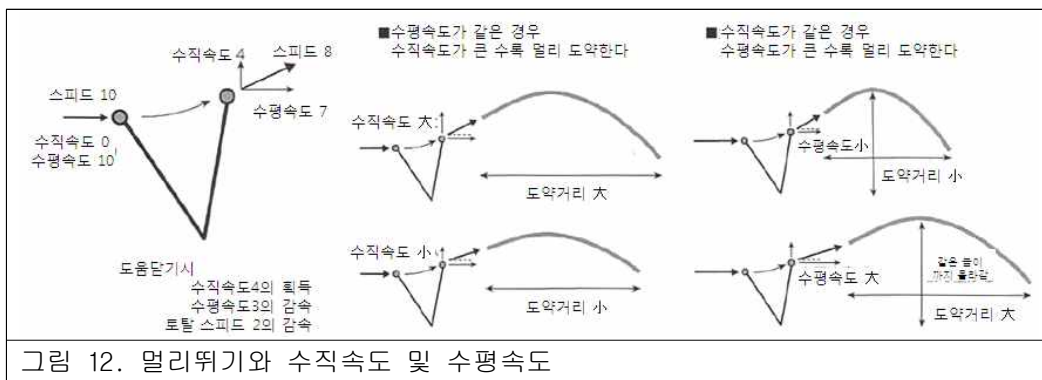
## 2) 멀리 뛰는 도약

멀리뛰기와 세단뛰기는 수평 방향으로의 도약거리를 경쟁한다. 이때, 조주속도가 중요하다. 멀리뛰기와 세단뛰기에서는 도움닫기에서 획득 한 수직속도에 따라 몸은 공중에 투사되어 그 사이에 조주로 의해 얻은 수평 속도로 수평 도약 거리를 얻을 수 있다. 수평 속도가 같으면 수직속도가 클수록, 즉 체공 시간이 길수록 반대로 같은 체공 시간이면 수평 속도가 클수록 멀리 될 수 있다(그림 12).

수직과 수평의 관계는 튀어나가는 속도와 도약 각도로 바꾸어 생각할 수 있다. 튀어나가는 속도(도움닫기 시 신체중심속도)는 조주속도에 크게 영향을 받지만 도움닫기 동작은 수평 속도를 감속하고 수직 속도를 얻을 동작이기 때문에 결국은 도움닫기 기술로 수평 속도의 감속을 최소화하고 효과적으로 수직속도를 획득하는 것이 중요하다. 더욱

이 도움달기 기술의 전 단계에서는 도움달기를 효율적으로 수행하기 위한 도움달기 준비가 필요하다. 이러한 일련의 도움달기 준비와 도움달기 동작으로 인해 도약속도와 도약각도는 도약거리, 특히 공중거리에 강하게 영향을 미치는 것이다.

그림 13은 멀리뛰기의 도약거리를 나누어 보여준 것이다. 도움달기 때 도움달기 발판과 중심의 거리는 L1, 공중을 중심이 진행된 거리를 L2, 착지시의 착지 위치와 중심과의 거리를 L3으로 하고 나타내고 있다. 일류 선수의 도약에서 L2가 커지지만, L1과 L3도 승패에 영향을 미치는 경우도 때로는 있다.



### 3) 높이 뛰어 오르는 도약

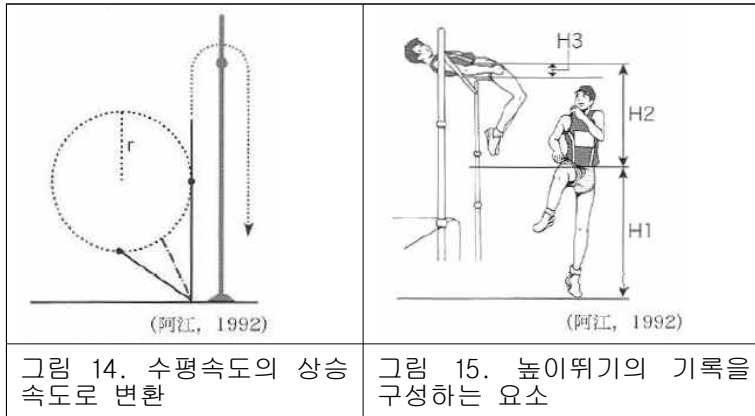
높이뛰기와 장대높이뛰기는 도약 높이를 겨루는 경기입니다. 도움달기 때의 수직 속도를 획득하는 것이 직접 기록에 이어져 그것은 이미 언급 한 바와 같이 지상 반력의 수직 성분을 크고 길게 받는 것으로, 수직 방향의 힘을 증대하는 것이 필요하다. 그러나 높이를 경쟁하는 도약도 조주는 수평방향으로 실시하기 때문에 조주부터 효과 좋게 수직 속도를 획득하는 것은 쉽지 않다.

수평 속도를 수직속도로 효과적으로 변환하기 위해서는 도움달기 접지시에 몸의 후경을 크게 하고, 도움달기시의 속도의 방향을 아래쪽이 아니라 수평으로 가깝게 하는 것, 중심의 궤적을 원 궤도에서 위 방향으로 부드럽게 바꾸어가는 것이 중요하다(그림 14). 실제 높이뛰기와 장대높이뛰기에 있어 다양한 조주와 도움달기의 기술이 이용되고 있



다.

그림 15는 높이뛰기의 장대높이뛰기를 분류 한 것으로, 도움닫기시의 신체 중심 높이를  $H_1$ , 신체 중심이 지면에 떨어지는 순간부터 최고점까지 상승 높이를  $H_2$ , 최고점과 바의 차이를  $H_3$  라고 나타내고 있다.  $H_1$ 은 신장이 높을수록 유리한 때문에 높이뛰기 선수는 장신 선수가 많다. 그러나 이륙 시에 양팔을 치켜드는 것과 흔든 다리를 높이 올려서 이지하는 것 등도  $H_1$ 에 영향을 준다.  $H_2$ 는 이륙 시 수직 속도로 결정된다. 도움닫기 접지시의 수직 속도는 약간 아래쪽 또는 거의  $0m/s$ 이므로 도움닫기 중의 지면 반력의 수직 성분의 힘의 축적으로 결정된다. 이것은 1)에서 이미 언급 한 바와 같이 반동 동작이나 흔드는 동작이 중요함과 동시에 큰 힘이 걸리는 도움닫기 다리의 발가락의 자세와 다리의 3관절의 관절신전근육의 부담비율, 도움닫기 다리의 방향 등도 영향을 미치게 되는 것이다. 배면뛰기의 공중에서 좋게 반동을 주어 중심의 최고점보다 높은 바를 클리어 할 수 있고,  $H_3$ 은 플러스가 될 수 있는 경우가 있다. 그러나 반동뿐만 아니라, 반동의 피크가 바의 위에 있는 경우와 파를 넘는 중심속도의 방향이 파와 평형하게 접근해서 바의 위를 넘는 시간이 길게 되어 몸의 부위가 부딪치는 가능성이 증가하는 것도 고려할 필요가 있다. 또한 선수에 따라서는 도움닫기에 있어 수평속도가 작아지는 선수와 큰 상태에서 도움닫기 하는 선수이지만, 도움닫기의 타입에 의해 최적의 도움닫기 위치를 고려하지 않으면 안 된다. 또한 높게 도약할수록 도움닫기를 멀리 할 필요가 있다.



#### 4 투척운동의 바이오메카닉스

##### 1) 던지는 물체의 투사

투척 종목은 투척 물의 던져진 거리를 겨룬다. 이 투척 거리는 투척동작에 의해 투척물 에 속도를 주고 어떤 각도로 투사되는 가에 결정되는 것이다. 그러나 포환던지기과 해머던지기에서는 거의 순수한 포물선 운동을 계산할 수 있지만, 창던지기과 원반던지기는 비행 중 중력 이외에도 공기 저항에 의한 항력과 양력의 영향을 받는다.

그림 16은 원반에 작용하는 항력과 양력을 나타낸 것이다. 투척 물의 비행 방향에 대해 자세가 이루는 각도를 맞이하는 각이라고 하며 진행 방향에 수직 위쪽으로 생기는 힘을 양력, 뒤로 작용하는 힘을 항력이라고 한다. 마주하는 각이 작으면 항력 또한 적어지지만, 양력도 적어진다. 한편 맞이하는 각이 크면 양력도 커지지만, 항력도 커진다(그림 17). 양력이 비교적 크고 항력이 적게 되는 밸런스 때 비거리가 증가하는 효과를 얻을

수 있다. 양력을 크게 하기 위해 일반적으로 역풍이 좋다고 여겨지고 있지만, 비행 중에 시시각각 원반의 자세가 변화하고 또한, 공기 저항의 영향이 달라질 수 있으므로 자세한 내용은 잘 모르고 있다.

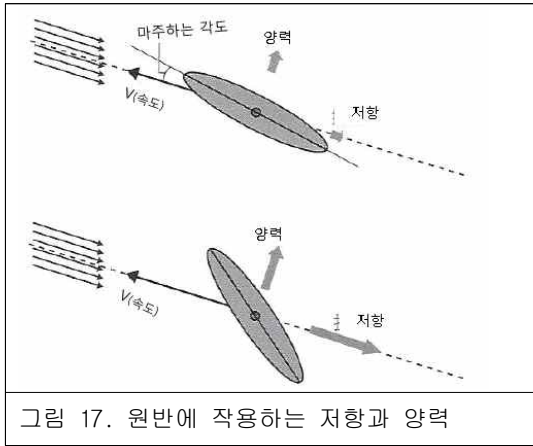


그림 17. 원반에 작용하는 저항과 양력

## 2) 투척 물의 속도

투척 물에 속도를 주는 방법은 동작이 서클에 한정되는 포환던지기, 원반던지기, 해머던지기과 직선조주를 이용하는 창던지기는 크게 다르다. 그러나 역학적으로 보면 모두 운동량의 전달로 간주 될 수 있다. 운동량은 물체의 질량과 속도의 곱으로 표현되는 것으로, 물체의 형태를 보여주는 것이다. 투척 물을 멀리 날리는 것은 투척 물에 큰 운동량을 주는 것이며, 이것은 투척선수의 운동량이 전달되는 것(전달하고 있다)이다. 즉, 투척 물을 놓릴(던지기)때, 투척 물에 돌려 받는 것이며, 이때, 투척 물 운동량이 증가하고 선수의 운동량이 주어 더는 것이다.

그림 18은 운동량 전달의 모습을 도식적으로 나타낸 것이다. 체중 56kg의 선수가 4kg의 포환을 글라이드에서 1m/s의 이동 속도를 붙었다고 할 때에 만일 던지기 국면에서 모든 운동량이 포환에 전달된다고 하면, 포환은 15m/s로 날아갈 것이다. 체중의 큰 선수는 같은 조주 속도를 얻을 수 있다면 큰 운동량을 가지게 되고, 투척 물을 날아갈 가능성이 커진다(그림 19). 실제로, 던지는 국면에서 던지는 사람의 운동량은 감소하면서 투척 물에 운동량을 전달하고, 조주를 붙여 운동량을 효과적으로 투척 물에 전하는 것은 간단하다 고는 할 수 없다. 여기에 각 투척 종목의 던지는 기술이 있는 것이다.

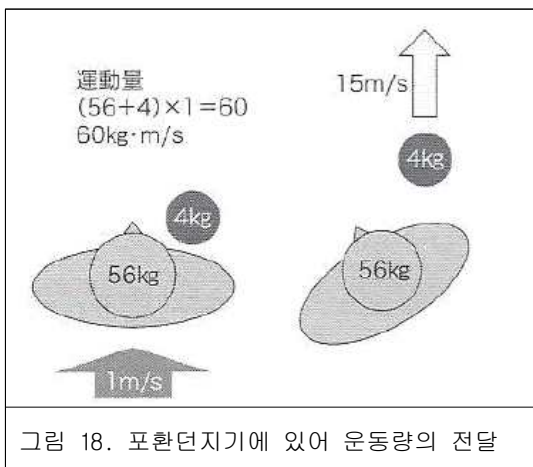


그림 18. 포환던지기에 있어 운동량의 전달

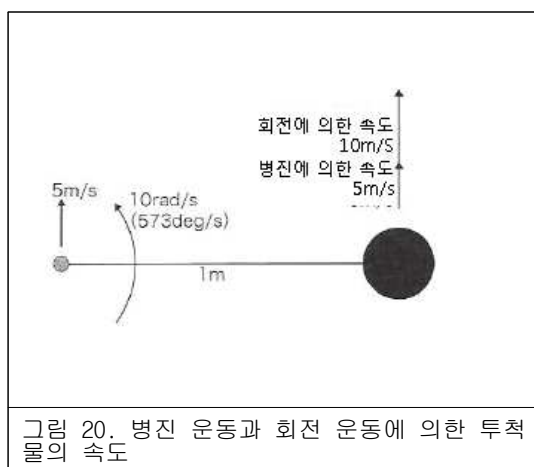
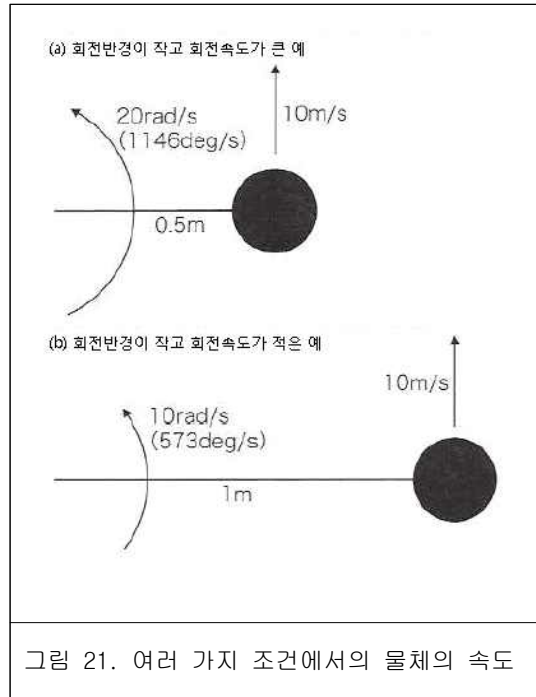
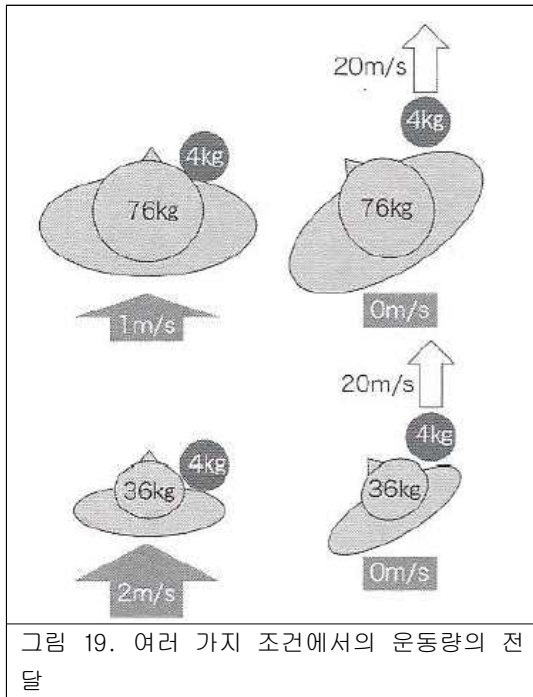


그림 20. 병진 운동과 회전 운동에 의한 투척 물의 속도



### 3) 병진 운동과 회전 운동

투척 물에 투사 할 때 속도를 제공하기 위해 직접 가속하고 있는 손과 팔이 빨리 움직이고 있지 않으면 안 된다. 역학적으로는 투척 물 및 손의 속도는 병진운동과 회전운동을 하고 있다고 간주 할 수 있다. 즉, 투척 물의 속도는 투사 될 때의 병진 속도가 투척 거리에 연결되지만, 투척 동작은 회전 운동과 병진 운동으로 만들어 지고 있다.

그림 20은 병진운동과 회전운동에 의한 투척 물의 속도를 모식 적으로 나타낸 것이다. 회전중심이 5m/s의 병진 속도로 이동하고, 그 주위로 회전 운동을 하고 있다고 하면 투척 물은 그 합계의 병진속도를 가지게 된다. 여기에서는 1m의 회전 반경으로 회전속도(각속도)가 10rad/s 이 말은 10m/s의 병진 속도가 되어, 총 15m/s가 투척 물의 병진속도가 된다. 예를 들어, 회전중심을 허리, 회전반경을 허리에서 손까지의 거리라고 하면 허리를 전방으로 이동하면서 손을 허리에서 먼 곳에 최대한 빨리 흔드는 것이 투척 물의 속도로 이어져 허리가 정지한다든지, 손을 빨리 흔들기 위해 허리로부터 거리가 가까워지거나, 혹은 허리가 뒤로 이동하면서 손을 흔들거나(회전반경이 매우 작은 된다) 하면 투척 물의 속도를 높이는 것에 연결되지 않는다.

그림 21은 투척동작에 있어 투척 물을 모식도를 나타낸 것이다. (a)는 회전반경이 작고 회전 속도가 크며, (b)는 회전 반경이 크게 회전속도가 작은 예를 보여준 것이다. 결과적으로 모두 같은 병진 속도를 가지고 있어 이대로 두면 같은 거리를 비행 할 수 있을 것이다. 그러나 (a)는 어깨 주위의 방향 회전 속도가 빠르고, (b)가 느리다는 것을 보여주고 있다고 하면 (a)은 (b)과 비교하여 어깨 근육이 큰 힘을 발휘하지 않으면 안 되며, 근육 속도가 높을 때 큰 힘을 발휘하지 못할 특성이 있기 때문에 잘 가속시키는 것은 어렵다. 한편, 포환던지기에서 포환에 대한 회전반경을 크게 하는 것은 회전중심에서 큰 힘이 필요하며, 포환을 가속하기 위한 힘을 충분히 발휘하지 못하는 경우도 발생한다. 이와 같이, 투척 물을 가속하기 위해서는 조주의 이용과 투척동작의 회전반경

과 회전속도와의 관계를 이해하고 현재의 최적의 조합과 가속경로를 검토 할 필요가 있을 것이다.

■ 参考文献

- 阿通良(1992)陸上競技のバイオメカニクス日本陸上競技連盟編, 陸上競技指導教本—基礎理論編—,大修館書店, pp.33-53
- 江通良・藤井範久(2002)スポーツバイオメカニクス20諮朝倉割苫.
- 金子公宥・福永哲夫制(2004)ノfイオメカニクス—身体運動の科学的基礎—杏林書院.
- 村木征人(1982)現代スポーツコ←チ実践講座2陸上競技(フィールド).ぎょうせい
- Knudson and Morrison :阿江通良監訳(2007)体育・スポーツ指導のための動きの質的分析入門. NAP.