

## 투구 동작의 생역학

전남의대 정형외과

### 문 은 선

야구 투수의 투구 동작은 상지의 가속과 감속을 필요로 함으로써 어깨와 팔꿈치에 상당한 힘(force)과 축회전력(torque)을 발생시키며, 반복적인 투구 동작은 견관절과 주관절에 반복적인 미세손상(microtrauma)을 일으켜 과용 손상(overuse injury)을 일으킬 수 있다.

정확한 투구 동작의 생역학을 이해하는 것이 선천적인 능력, 몸 상태 조절, 적절한 회복 기간과 함께 투수의 성공과 부상을 피하는 길이다.

#### 1. 투구동작의 단계 (Phases of pitching)(Fig. 1)

1. 준비기(wind-up, 가-다)
2. 전기 발동기(early cocking, stride, 다-바)
3. 후기 발동기(late cocking, arm cocking, 바-아)
4. 가속기(acceleration, 아-자)
5. 감속기(deceleration, 자-차)
6. 정리기(follow-through, 차-카)

##### (1) 준비기(Wind up)

준비기는 선수간에 다양한 차이가 있으며, 1.5초-2초가 소요되고, 전체 투구 시간의 80%를 차지한다. 준비기의 목적은 투구의 좋은 균형을 잡는데 있으며, 다음의 연속되는 움직임의 시간 조절을 위한 리듬을 마련한다. 우완 투수를 기준으로 좌측(앞쪽 다리) 고관절 굴곡근의 수축으로 슬관절을 최고 높이에 도달하게 하며, 우측 다리(뒤쪽 다리)는 대퇴사두근(Quadriceps)의 균형된 수축으로 안정감을 도모하며, 고관절 외전근이 등척성 수축(Isometric contraction)을 하여 반대편 골반을 지지한다. 이때 몸통은 뒤로 처지면서 회전하여 어깨와 고관절이 목표와 90°를 이루게 되어 탄성 에너지가 최고가 된다. 많은 투수에서 투구 동작시 타지를 향하는 앞쪽 다리의 동작이 너무 빨라져 하체와 상지간의 적절한 균형을 유지하지 못하는 경우가 있는데, 이 때는 하지에서 상지로의 힘의 전달이 어렵게 되어 상지의 과도한 힘을 필요로 하게 되어 상지의 손상의 기회가 높을 수 있다.

---

※통신저자 : 문 은 선

광주시 동구 학1동 8번지 전남대병원 정형외과

Tel : (062) 220-6336, Fax : (062) 225-7794, E-mail : esmoon@chonnam.ac.kr

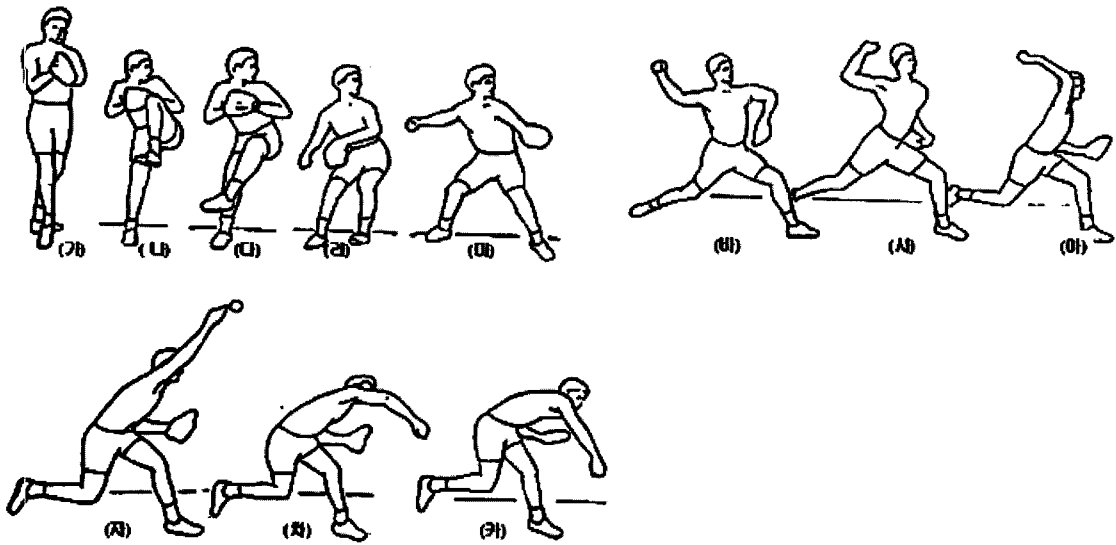


Fig. 1. 투구 동작의 단계.

(2) 전기 발동기(early cocking, stride)

공이 야구 글러브를 낀 손에서 벗어난 후부터 우완 투수의 좌측 발이 땅에 닿게 되는 시기까지로, 0.5초가 소요된다. 이 시기는 하반신의 회전을 통하여 에너지를 만들고, 운동축(system of kinetic links)을 통하여 공에 에너지를 전달하는 시기이다. Toyoshima 등은 overhand 투수의 속도의 47%가 걸음(step)과 몸의 회전에 의한다고 했으며, 53%가 팔의 운동에 의한 것이라고 하였다. 이 시기에 삼각근이 상완골에 대한 능동적인 전방 굴곡 및 외전을 통하여 상완 거상에 주로 작용하며, 상대적으로 회전근개의 움직임은 없고, 전완부는 회외전된다. 대둔근은 골반과 몸통의 주된 안정 요소로 작용하면서, 몸통과 하반신에 회전력이 가해지며, 이 때, 척추 주위 근육은 안정 요소로 작용하며 요추를 전만(lordosis)시켜 투구 동작에서 어깨와 상완을 몸통 뒤에 있게 한다.

(3) 후기 발동기(late cocking, arm cocking)

볼이 던져지도록 온몸의 각 부분이 위치를 잡는 때이다. Dillman 등은 이 시기에 고관절과 하지는 이미 가속기에 있고, 에너지가 꼬인 팔(cocked arm)에 전달되었기 때문에 팔 발동기(arm

coking)라고 하였다. 지면 접촉(foot contact)에서 시작하며, 견관절의 최대 외회전 동작(Maximum shoulder external rotation)에서 끝난다. 발동기에서는 골반과 윗 몸통의 빠른 회전은 상지를 밖으로 회전시키면서 동시에 견관절을 신연시킨다. 이때 550-770 N의 회전근개근육의 압박력(compressive force)은 상완골두를 관절와(glenoid)에 안정되게 잡아준다.

견관절은 수평상태에서 완전 신전되면서 외전되고 최대한 외회전한다. 최대 외회전과 더불어 견관절의 앞쪽 관절막은 최고의 탄력 상태로 꼬이면서 큰 부하를 받게된다. 내회전근인 대흉근, 광배근, 삼각근의 앞 부분, 대원형근, 견갑하근 등은 스트레칭 된 위치에 있게 되며, 견관절의 외전을 감속 시킨다. 이는 재활 및 몸 상태 조절시에 내회전근의 편심성 부하(eccentric loading)에 대한 주의 깊은 관찰을 요하는 이유이기도하다. 주관절에는 편심성 부하가 작용되며, 최대 내전력(maximal varus torque)은 50-75 Nm이며, 250-350 N의 압박력이 발생한다. 주관절 최대 굴곡 운동(flexion)이 발동기의 마지막 1/3 동안에 발생한다. 후기 발동기는 들었던 다리가 지면에 닿으면서 다리와 몸통 그리고 팔을 통하여 공으로 에너지전환이 이뤄지는 온몸의 자세가 정리

되면서 끝난다. 이 기간은 0.11초가 소요된다. 견관절의 주요 관련 근육들은 외회전근으로, 후방 삼각근, 극하근, 승모근, 전거근, 소원형근, 극상근 등이며, 스트레스 부하가 되는 곳은 상완골두 및 전방 삼각근의 기시부, 대흉근의 삽입부, 상완 이두박근의 장두 등이다(Fig. 2).

(4) 가속기(Acceleration)

가속기는 견관절의 최대 외회전동작(Maximum shoulder external rotation)에서 시작해서 공 방출(Ball release)에서 끝나며, 매우 폭발적이다. 이 기간은 두 개의 힘이 풀리는 시기이다. 즉, 매우 단단하게 이뤄진 관절막의 섬유 조직에 저장되었던 탄력과 내 회전근에 의한 강한 내 회전력이 그것이다. 주관절 신전은 상체의 회전에 의한 원심력의 결과이지 삼두박근(Triceps)의 신전에 의한 것은 아니라고 생각되고 있으며, 삼두박근의 신경 차단(nerve block) 후에도 마비전의 투구 속도의 80% 이상을 얻을 수 있다는 보고가 있다. 즉 삼두박근(Triceps)은 가속의 기능보다는 안정의 기능을 한다고 볼 수 있다. 가속기는 전체 투구 동작의 2%에 해당하는 단 0.03-0.04초의 매우 짧은 시간을 소요되며, 공을 떠나 보내면서 그 기간이 끝나는데 대략 귀 높이에서 이뤄진다. 가속기에 포함되는 동작들은 팔꿈치에

극심한 외전력을 주며, 이것이 내회전된 견관절 뒤쪽으로 치지는 경향이 있다.

주요 관련 근육은 내회전 및 외전근으로 대흉근, 삼각근, 광배근, 견갑하근 등이며, 내측 주관절에 외전력, 상완골에 회전력 등을 받으며, 오구 견봉궁(coracoacromial arch)에서 극상근이 충돌(impingement)되며, 상완 내 상과에 전완부의 굴곡근의 작용 등이 스트레스로 작용한다(Fig. 3).

(5) 감속기(Deceleration)

감속기는 공 방출에서 견관절 최대 내회전(maximum internal rotation)까지이다. 투구 동작에서 만든 모든 에너지가 공(ball)으로 전환

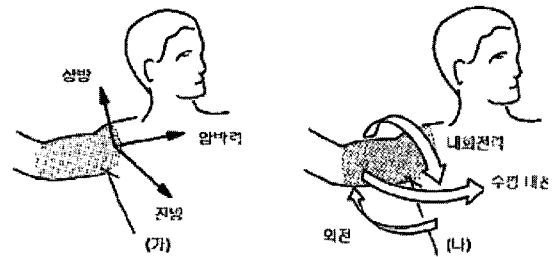


Fig. 2. 견관절의 동역학.  
(가) 견관절에 작용하는 힘(force).  
(나) 견관절에 작용하는 축회전력(torque).

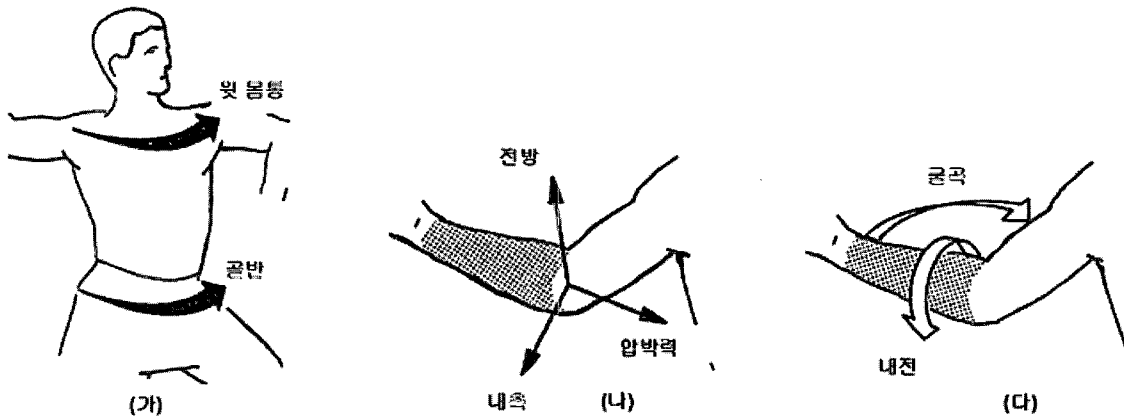


Fig. 3. 몸통 및 주관절의 동역학.  
(가) 윗 몸통 및 골반의 각속도(angular velocity).  
(나) 주관절에 작용하는 힘(force).  
(다) 주관절에 작용하는 축회전력(torque).

되지는 않는다. 감속기는 공을 손에서 놓은 후 팔을 감속시키기 위해서는 주관절 및 견관절에 큰 편심력(eccentric loads)을 필요로 하는데, 이것이 견관절 후방의 여러 조직들이 큰 스트레스를 받게 되는 결과이다. 이때의 힘은 약 135 Kg 정도이며 상완골을 관절와로부터 밖으로 끌어내는데 기여하는 것이다. 회전근개 중에서 외회전근의 편심성 스축과 함께 견갑골을 고정시키는 근육들과 후방 삼각근의 편심성 스축이 견관절 내회전의 속도를 감속시킨다. 견관절 후방에 있는 고도의 스트레스와 더불어 주관절 굴곡근에도 매우 큰 스트레스를 주어 주관절이 갑자기 신전되는 것을 막아주는 역할도 한다. 이 기간은 약 0.35초 지속되며 투구 동작 전체의 18%를 차지한다.

#### (6) 정리기 (Follow-Through)

이 시기는 부상의 위험을 최소화할 수 있는 중요한 시기이다. 견관절 최대 내회전에서 균형 상태에 이르기까지의 기간으로 1초가 소요된다. 팔과 몸통의 뒤쪽에 생긴 대부분의 과용 손상(overuse injuries)는 감속기나 정리기에 발생한다. 이것은 공을 가속시키기 위해 생성된 모든 에너지가 공을 던진 후에 방출되어야 되기 때문에 정리기를 길게 하면 긴 시간 동안 힘이 분산될 수 있기 때문에 힘의 분산에 도움이 된다. 올바른 정리기가 되기 위한 투수의 오른손 동작은 왼쪽 발부근에서 마무리되는데 투구 방법에 따라 차이가 있다. overhand 투수의 경우에는 그의 왼쪽 발목부근에서 끝나고, 반면에 three-fourths (three quarter)형의 overhand 투수는 왼쪽 무릎 부근에서 끝나며, sidearm 투수의 경우에는 왼쪽 엉덩이부근에서 종료된다. 이 시기에는 전거근이 견갑 회전근 중에서 가장 활동력이 높은 시기이며, 승모근의 중간 부위와 능형근이 견갑의 움직임을 감속시키는 역할을 한다.

주요 관련 근육은 견갑하근, 대흉근, 광배근, 상완 삼두근, 전완 굴곡근 및 원형 회내근 등이며, curve ball을 던질 때, 전완 회외근과 상완 이두근 등이다. 후방 관절낭의 삼각근 기시부, 상완 이두근의 장두 기시부 등이 스트레스를 받으며, 상완골의 내회전에 의해 견관절의 전하측이 스트레스를 받고, 관절와 상완 관절이 아탈구되는

스트레스를 받는다.

## 2. 다양한 투구법의 비교 (Comparison of different types of pitches)

운동학적인 면에서 비교해서 속구와 슬라이더는 비슷하고 반면에 change-up과 curve ball은 운동 범위와 관절의 속도가 적다는 점에서 비슷하다. 체인지업시에 속구, 커브, 슬라이드시보다 부하가 더 적게 걸린다. 커브볼의 투구법은 다른 투구법에 비해 주관절 내측에 보다 큰 변형력을 가지고, 체인지업은 지속적으로 가장 적은 분절 각속도와 가장 적은 변형력을 견관절과 주관절에 가한다.

## 3. 투구 동작시의 부상 예방(Prevention of throwing injuries)

팔을 움직이고 자세를 잡을 수 있는 적절한 중심성 근력 및 견관절을 안정시키는 적절한 편심성 근력을 키워야 하며, overhand 투구 자세에서 충돌(Impingement) 및 속발성 충돌을 피하기 위한 상완 골두의 효과적 하위 이동을 위한 회전근 개의 근력이 필요하다.

평상시 또는 비시즌기(off-season)에는 구보, 자전거 타기, 수영 같은 신연, 지구력 운동이 필요하며, 투구 연습시 10분 정도는 가벼운 던지기, 15분 정도에 걸쳐서 속도를 높이며, 자기의 투구수를 계산하면서 너무 많은 공을 던지지 않도록 해야 한다.

투구 전에는 트레이너의 수동 신연 운동 및 몸을 따뜻하게 하는 것이 도움이 되며, 투구 후에는 어깨와 팔에 얼음 찜질과 마사지를 하는 게 도움이 된다. 투구시의 미세 손상이 치유되는데는 보통 48시간에서 72시간이 소요되며, 그 기간 동안에는 하체 운동 및 가벼운 상체 신연 운동을 하는 것이 좋다.

## 결 론

정확한 투구 동작의 역학을 아는 것은 투수와 코치로 하여금 최대 동작을 할 수 있게끔 하며,

각 관절에 대한 부하를 최소화 함으로써 손상 기회를 줄일 수 있게 한다. 투구 동작 역학의 이해는 의사, 트레이너, 치료사 및 건강 관리 전문가로 하여금, 투수의 몸 상태, 치료, 재활을 향상시키게 한다.

## REFERENCES

- 1) **Ahn BH** : A model of the human upper extremity and its application to a baseball pitching motion. Michigan state University, 1991. *Dissertation*.
- 2) **Andrews JR, Kupferman SP, and Dillman CJ** : Labral tears in throwing and racquet sports. *Clin Sports Med*. 1991;10:901.
- 3) **Bradley JP** : Electromyographic analysis of muscle action about the shoulder. *Clin Sports Med*. 1991;10(4):789.
- 4) **DiGiovine NM** : An electromyographic analysis of the upper extremity in pitching. *J Shoulder Elbow Surg*. 1992;1(1):15.
- 5) **Dillman CJ** : Proper mechanics of pitching. *Sports Med Update*. 1990;5(2):15.
- 6) **Dillman CJ, Fleisig GS, and Andrews JR** : Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1993;18:402.
- 7) **Elliott B and Anderson G** : Age related differences in high performance overarm throwing patterns. *J Hum Movement Stud*. 1990;18(1):1.
- 8) **Fleisig GS** : The biomechanics of baseball pitching. University of Alabama at Birmingham, 1994. *Dissertation*.
- 9) **Fleisig GS, Dillman CJ, and Andrews JR** : A biomechanical description of the shoulder joint during pitching. *Sports Med Update* 1991; 6(3):10.
- 10) **Snyder SJ, Karzel RP, Del Pizzo W, Ferkel RD, and Friedman MJ** : SLAP lesions of the shoulder. *Arthroscopy*. 1990;6(4):274.
- 11) **Toyoshima S, Hoshikawa T, Miyashita M, and Oguri T** : Contribution of the body parts to throwing performance. In Nelson RC, Morehouse CA(eds). *Biomechanics IV*. Baltimore, University Park press 169-174, 1974.