

투구 동작의 역학

문영래 · 이경일* · 이광철

조선대학교 의과대학 정형외과학교실, 조선대학교 체육대학 체육학부*

던지기 동작은 wind-up, early and late cocking, acceleration, deceleration, follow-through 6 단계로 나눌 수 있다. 야구에서 과사용 증후군에 의한 손상은 대부분 던지기 동작에서 발생된다. 잘못된 던지기 동작은 상지 손상의 원인이 된다. 본 종설의 목적은 동작 분석을 통하여 던지기 동작에 수반되는 각 관절의 생역학 및 병적 역학을 파악함에 있다.

색인 단어: 생역학, 병적역학, 던지기, 운동분석

서 론

한 개의 물체를 다른 쪽으로 내보내는 던지기 동작은 던지기 동작에서 발생된 추진력(momentum)은 던지기 선수의 몸에서 던져진 공으로 이동한다. 적절한 추진력을 얻기 위해서는 타이밍과 연속동작이 매우 중요한데 이는 정확한 연습으로 향상되며 5시기로 구분할 수 있다. 이 사실은 채찍을 생각하면 간단하다. 채찍의 base는 땅에 있는 발이다. 힘은 ground reaction force에서 시작하여 다리, 몸통 그리고 팔을 통해 이동한다^{9,12)}. 이 과정에 있는 근육의 힘은 처음의 힘에 더해진다. 공을 실제로 던지는 순간에는, 처음의 힘과 근육의 힘 모두가 그 공에 실려 던져진다. 다시 한 번 채찍으로 따지면, 손목을 꺾어 시작되는 힘은 채찍을 따라 이동하면서 점점 증폭되어, 채찍 끝의 편위 운동과 스피드는 base에 비하여 훨씬 크다. 채찍의 energy transfer 과정에 있어서, 중간에 방해 요인이 있다면, 최종 힘은 훨씬 감소되어 있을 것이고, 투수의 입장에서는 adaptive mechanics가 야기된다.

위에서 얘기한 것처럼, upper extremity linkage system을 이해하는 것은 하지에서부터 시작된다. 신체의 일부에서 다른 부위에 이행하는 과정을 이해함에 따라, 의사는 손상의 기전과 원인을 정확하게 파악할 수 있는 이는 치료 방침 설정에 도움을 줄 것이다. 본 종설에서는 동작 분석을 통하여 각 시기에 사용되는 근육과 관절의 위치를 파악하고 적절한 던지기 동작을 평가하고자 하였다.

투구 동작

투구 동작은 단순히 상지를 이용하여 이루어질 것으로 생각하기 쉽지만 실제로는 던지기에 있어서 대부분의 강력한 근육 군들은 운동 초기에 사용되고 점차적으로 힘은 약하지만 가장 잘 협조된(coordinated)(하지, 체간, 견관절, 상지, 전완, 수부) 근육의 단계로 이동하게 된다. 신체의 무게 중심은 던지는 쪽을 향해 이동하며 상지의 반대쪽 다리가 올라가고 전방으로 움직이면서 착지하게 되면 하지의 전방 이동이 멈춘 상태에서 체중이 지지한 하지에서 움직이는 하지로 이동하게 된다. 처음에는 상체가 뒤로 젖혀지고 던지는 상지와 손목이 뒤로 젖혀진 다음 전방으로 회전하면서 지면에 고정된 발 뒤 쪽까지 계속 회전하고, 던지는 팔은 최대 외회전, 외전 그리고 신전 상태를 만든다. 굴곡된 자세에서 점차적으로 공을 전달하는 마지막 단계인 굴곡 자세로 유지하기 위해서는 강한 내회전근과 내전근이 수축하게 된다. 이 근육들은 상완골의 원위부, 즉 상완골 소두 및 상완 골두에 엄청난 힘이 장기간 가해지므로 미세 외상이 누적되어 주관절에 문제를 일으킬 수 있다. 또한 상지에 고강도의 스트레스를 반복적으로 받게 되는 편측성 동작과 잘못된 기술에 의한 던지기 동작은 상지 관절 주변 조직에 비정상적인 스트레스를 유발하여 급성 및 만성 견관절 손상을 유발할 수 있다^{1,6)}. 예를 들면 야구공이나 미식 축구공을 머리 위로 던지기, 투창, 배구의 스파이크나 서브, 테니스의 스매시나 치기 동작 등이 있다. 던지기는 신체의 각 부분이 움직임의 연속적인 패턴에 따라 움직임이 조절하는 운동으로서 효과적인 던지기를 하는 사람의 조건으로는 속도, 정확성, 회전력, 지구력 등이 있고 이상의 상태를 얻기 위해서는 고도의 신경, 근육적인 조절이 요구된다 하겠다.

통신저자: 문 영 래
광주시 동구 서석동
조선대학교 부속병원 정형외과학교실
TEL: 062) 220-3140 · FAX: 062) 226-3379
E-mail: orthoped@chosun.ac.kr

던지기 동작의 분석

투수에서 동작 분석 연구가 많이 이루어지고 있는데⁹⁾ 그 이유는 운동 행위가 일정하게 반복되고 분석 동작 촬영 및 근전도 검사가 용이하며 상지 관절 손상이 자주 발생하기 때문이다. 던지기의 요점과 단계를 살펴보면 견관절을 기준으로 할 때 던지기나 투구 동작은 몇 가지 단계로 나뉘어진다. Tullos & King¹⁰⁾에 의하면 3단계로 나뉘는데 cocking, acceleration, follow through 등으로 나뉘고, Pettrone 등⁸⁾에 의하면 5단계로 나뉘는데 wind-up, cocking, acceleration, deceleration, follow through 등으로 나뉜다. 본 종설에서는 6단계 즉 wind-up, early cocking, late cocking, acceleration, deceleration, follow through로 분류하였다 (Fig. 1). 이러한 각 시기에 정확한 운동을 수행하면 각 신체 의 분절에서 생성된 운동과 위치 에너지로 적절한 던지기 동작이 이루어진다.

1. Wind-up과 early cocking 시기

이 시기는 근육의 작용과 모멘트 그리고 회전력(torques)이 발산하기 보다는 준비를 위한 설정기로 보는 것이 정확하다. 그러나 이러한 초기 동작이 잘 이루어지면 남은 동작들은 부드럽게 연결되지만 던지기의 초기 동작인 이 시기가 잘못되면 큰 회전력과 모멘트가 요구되는 시기에 병적인 동작이 발생하여 쉽게 부상을 입게 된다. 따라서 투구 동작을 관리할 때는

몸의 각 부위에 대한 연결 동작과 시간적인 연결 순서(sequential linkage)를 염두에 두고 지도해야 할 것이다.

Wind-up의 순서(Fig. 1)

- ① Wind-up의 시작 시 두 발이 투수판에서 서로 평행 상태에서 시작하다 점차 직각을 유지하게 된다. 이때 투수판은 가로 61 cm, 세로 15.2 cm의 직사각형 흰색 고무 평판으로 만들어져 마운드에 고정되어 있다. 다음 신전 상태의 고관절은 점차 굴곡을 시작하여 투수판과 직각을 이루게 된다. 글러브에 공이 들어 있는 상태로 두 손을 모으고, 신체의 균형을 유지하는데 유의한다.
- ② 우완 투수에서 좌측 하지는 안정된 위치에서 가볍게 한 걸음 뒤로 빼는데 두발의 선상이 홈플레이트를 향하게 한다.
- ③ 반면 우측 하지는 투수판과 평행하게 또는 투수판의 끝에 발의 바깥 절반을 올려놓는다(Fig. 2-A). 이때 체중은 우측 하지 내측에 실려 있게 된다.
- ④ 다음 고관절의 모양을 그대로 유지한 채로, 좌측 하지를 조심스럽게 들어올리면서 홈 플레이트를 향하여 방향을 이동한다.
- ⑤ 고관절이 전방으로 이동하면서 고관절을 꼭지점으로 하고 체간(torso)과 우측 하지를 양변으로 하는 "V"자를 그릴 수 있게 된다. 이 자세에서 뒤로 기대지 않은 상태를 유지하여야 하며 고관절은 타자를 향해 이동한다(Fig. 2).
- ⑥ Wind-up의 마지막 자세는, 공을 쥐고 있는 손이 글러브에서 빠져 나올 때이다(Fig. 1, Fig. 2-B).

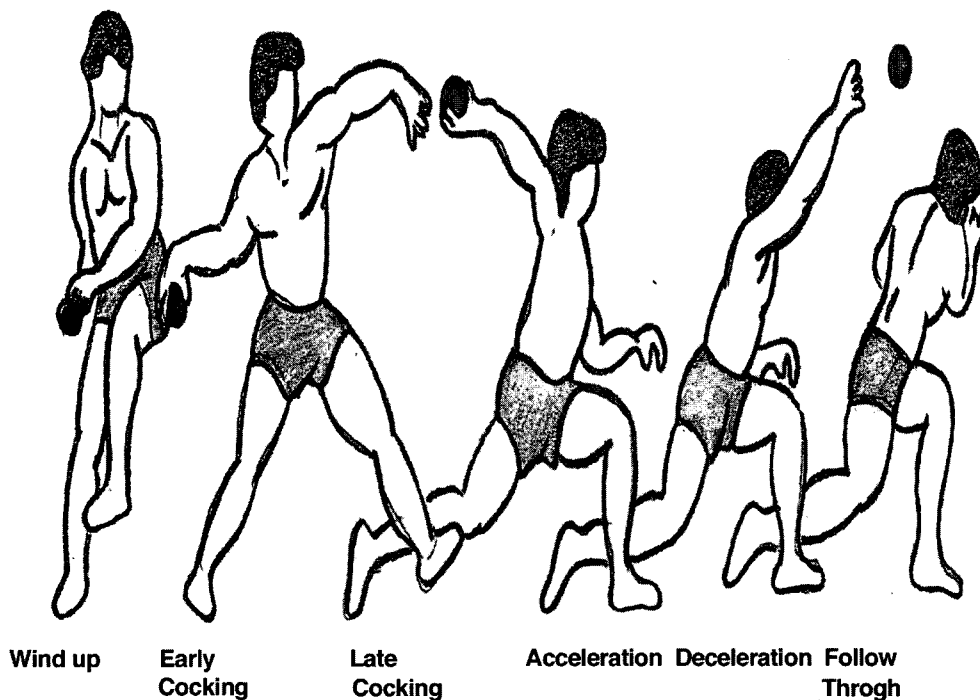


Fig. 1. Six-phases of the pitch.

Early cocking 동안에 우측 손은 글러브에서 나오지만, 이 손 밑에 공이 위치하여야만 견봉 상완 관절(glenohumeral joint)에 더 안전한 견관절 내회전 상태가 유지된다(Fig. 3-A). 이때 견관절은 견갑위(scapular plane)상에서 104도 외전, 46도 외회전하게 된다³⁾. Early-cocking 시기는 사용하는 상지의 관절과 상완 관절(Dominant glenohuemral joint)이 90도 외전, 과신전, 외회전을 보이고 전방 관절낭, 이두근, 삼두근이 긴장하며 삼각근과 극상근에 의해 상완이 외전되고 들었던 발이 땅에 닿으면 이 단계는 끝난다. 이때 주관절은 상완요근에 의해 굴곡된 상태를 보이게 된다. Wind-up때 시작되었던 고관절은 더욱 확실한 "V" 형태를 띠게되고(Fig. 2-A) 이러한 고관절의 회전 상태는 최대한 지연시켜 위치 에너지를 보존한다. 좌측 하지가 점차 아래로 내려오면서 발이 mound에 닿으면 early cocking phase는 끝난다(Fig. 2-C).

Wind-up 시기를 보면 이는 매우 개개인 마다 차이가 많고 발이 글러브에서 빠져 나오면 wind-up 시기는 끝나고 이때는 견갑부(shoulder girdle)와 상지의 근전도상 활동상태(EMG activity)는 낮은 상태이다.

이들 초기 시기에 자세가 잘못되어 발생된 병적 기전(pathomechanics) 매우 발견이 어렵다. 예를 들면 고관절이 wind-up 동안에 흠 플레이트를 향하지 않고 다른 곳을 향한다면, 발이 잘못된 방향으로 향하여 내려온다. 이를 교정하기 위하여 투수가 체간(trunk)을 돌림으로써 보상하려 하므로 체간이 너무 빨리 회전을 시작하거나 좌측 하지는 거상되면서 체간은 뒤로 뒤로 기울어지면서 균형이 깨지고 던지기 동작의 수행 관절에 과도한 운동이 야기되어 문제가 발생한다.

Early cocking 시기에서 투수에게 있어서 가장 흔한 잘못

된 버릇은 파이 던지기(pie-throwing)이라 불리는, early cocking이 끝날 때 공 아래에 손을 놓는 자세이다. 손이 공 아래에 위치하게 되면 상완골부는 외회전하고 상완골두가 앞쪽으로 아탈구될 위험을 초래한다(Fig. 3-B).

또 다른 흔한 문제는 체간의 과도한 조기 회전이다. 이때 좌측 하지는 아직 투수 마운드와 접촉되지 않았기 때문에 회전할 때 안정된 자세를 얻을수 없고 많은 위치 에너지(potential energy)를 잃게 되어 좋은 구질의 투구는 불가능 해진다. 따라서 투수는 이를 보상하기 위하여 late cocking 시기에 타자를 향해 체간을 돌리는 opening up 너무 빨리 시행하게 되고 소실된 위치에너지를 공을 무리하게 던지면서 만회하려고 한다.

좌측 하지를 내릴 때는 가볍게 서서히 지면에 닿도록 한다. 하지를 너무 빨리 내리면 에너지를 최대한으로 축적하지 못하여 공의 속도가 떨어진다.

먼저 기술한대로 이 시기에는 속도가 느리고 근육의 활동과 회전력이 적어 외상이 발생할 가능성이 적지만 잘못된 초기 투구 동작은 후기에 확대되어 외상과 연결된다.

2. Late Cocking 시기

Late Cocking 시기에는 체간이 신속하게 전방으로 이동하는 동작이 발생하고⁴⁾ 우성의 견관절은 전방 회전하며 견관절과 주관절에 큰 회전력이 발생하는데 이때 정적인 안전 장치인 하부 관절과 상완 인대가 안정성을 부여하고 대흉근과 광배근이 이 인대를 보강하며 견갑흉근이 작용하여 상완 골두를 신장, 상방 회전시켜 상완 골두가 관절외에 담기지게 한다¹¹⁾. 주관절에는 내반력이 가해져서 내측 안전 장치에 긴장이 되게 된다.

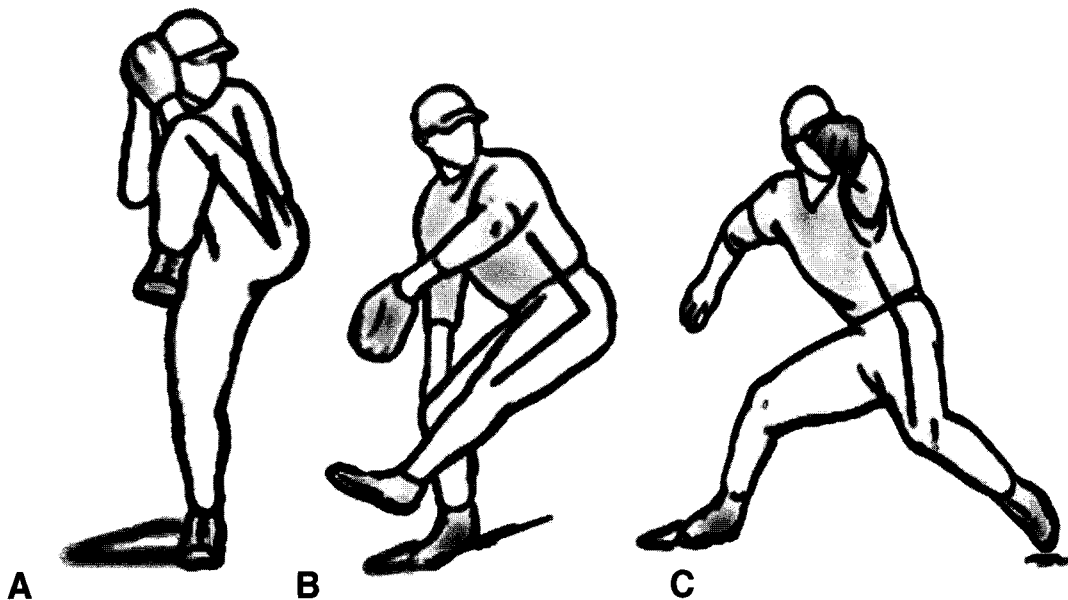


Fig. 2. In the pitcher the hips begin to move forward in wind-up, progressing throughout early cocking to form a "V" with the hips at the apex, while the torso and stance leg form two sides of the "V"

적절한 wind-up과 early cocking 시기가 지나고 투수의 고관절은 균형을 유지하면서 홈 플레이트를 향하면 좌측 발은 우측 발의 범주 내에 착지하면서 홈 플레이트를 향하게 된다. 또한 체중은 양 하지에 균등하게 분포되고, 체간은 양하지 사이에 균형을 유지하고 있게된다. 투수의 체간은 최대한 회전을 억제할 수 있는 상태를 유지하게 된다.

Late cocking 시기에는 상완골이 46도에서 170도까지 최대 외회전을 하게 된다. 이때 상완골은 견갑위(scapular plane)에 위치하는 것이 매우 중요하다.

이전 시기에서 투수의 고관절이 홈 플레이트를 향해 있지 않는 경우 좌측 발은 외측으로 쏠리게 되고 족지 역시 홈 플레이트 방향에서 멀어지게 된다. 좌측 발이 1루 쪽을 향하면 투수는 체간이 너무 빨리 회전하여 open up(체간의 전면이 타자를 향하는 위치) 하게되며 반면 3루 쪽을 향하면 너무 늦게 체간이 회전하므로 잘못된 방향으로 공을 던지거나 균형을 잃게 된다.

투수가 너무 빨리 open up 하게 되면 상완골이 170도 외회전 상태에서 상완부는 견갑위 후방부에 위치하게 된다. 이때 상완골두가 견관절 전방 구조물을 손상시키게 된다. 특히 투수가 지친 상태에서 이러한 상태가 발생하면 더욱 큰 손상이 발생하게 된다.

이 시기에 체간이 조기 open up 하는 것은 주관절에도 손상을 줄수 있는데, 상완부가 견갑위 후방부에 위치하면, 외반력이 증가되어 내측 측부인대 손상이 쉽게 발생하고 주관절 내측 불안정성이 촉발하게 되는 것이다(Fig. 4)^{2,7)}.

“Dropped elbow”는 견갑부 근육(특히 전거근)의 약화로 발생하는데 견관절을 들어올리는 운동을 수행 시 견갑부 거상(upward elevation)과 protraction 기능히 약해짐으로써 발생한다⁹⁾. 이러한 견갑부 근육의 부조화(scapular asynchrony)가 발견되면 조기에 근력 강화 재활을 시행하여 static stabilizer까지 손상되는 것을 예방할 수 있다.

이러한 잘못된 투구 동작이 지속되면 투수는 보상 기전으로

견갑위에 있어야할 상완부가 관상면이나 더욱 후방부에 위치하고 적절한 견관절 외회전을 얻지 못할 뿐아니라 요추부는 과도한 후만으로 보상을 하려한다. 따라서 이러한 상태가 계속된다면 선수는 요통이 발생하게 된다.

3. Acceleration 시기

상완부가 내회전 함에 따라 acceleration 시기가 시작된다. Acceleration 시기에 견관절과 주관절은 전방으로 가게 되고 주관절과 수부는 뒤쪽에 남게 되며 동시에 상완은 공이 머리부위에서 놓아지면서 과도한 외회전에서 내회전으로 바뀌게 되고 견관절에서는 심한 내회전에서 외회전으로 변하는 과정이 발생하며 공을 놓는 동시에 끝난다⁴⁾. 이때 견관절에는 860Nm의 압력이 가해지고 대흉근, 광배근, 견갑하근이 동심적으로 수축하여 상완골을 돌린다. 이때 상완의 내회전력은 14,000 inch/lb이고 각속도는 6,100 degree/sec이다. 0.05

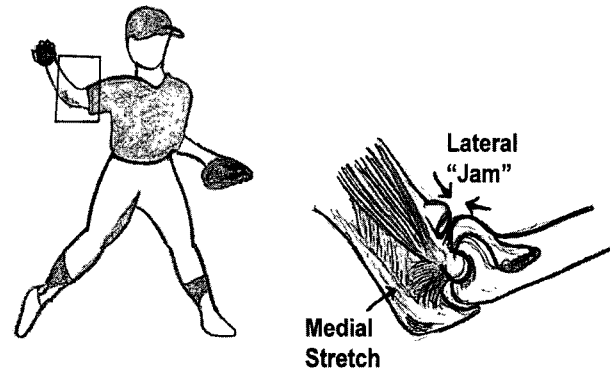


Fig. 4. Thrower's elbow. Valgus stress to the elbow stretches the medial side and jams the lateral side, producing medial instability, osteochondritis dissecans.

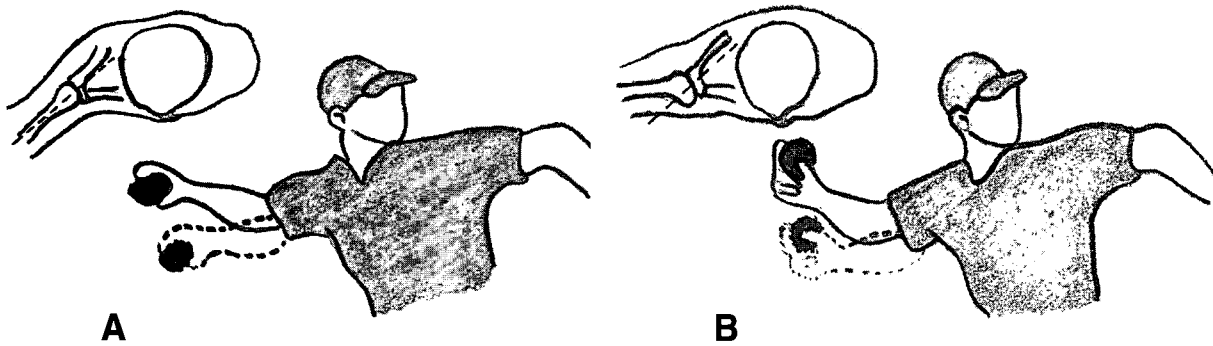


Fig. 3. (A) Good mechanics. The hand is on top of the ball as it comes out of the glove and stays on top until the end of early cocking. This position allows the humerus to stay internally rotated with the humeral head safe within the glenoid. (B) Pathologic mechanics. The hand is under the ball in early cocking. This position causes the humerus to externally rotate and levers the humeral head anteriorly in the glenoid, which can lead to instability.

초 내에 공은 손에서 90 miles/hour의 속도로 던져진다^{4,5)}.

Acceleration 시기에, 우측 하지가 마운드에서 떨어지면 투수는 균형을 잃어 투구시 충분한 힘을 전달하기 어려워지고 상지의 보상 기전이 발생하게 된다. 또한 투수는 제구력을 쉽게 잃게 된다.

4. Deceleration과 follow-Through 시기

Deceleration 및 follow-through 시기는 공은 놓은 후에 하는 것으로 체간과 우측의 하지는 전방회전하고 견관절은 내전, 30도 내회전하는 반면 주관절은 50도 굴곡, 전완은 수동 회내전 하게 된다. 공으로 전달되지 않은 남은 운동에너지(kinetic energy)는 상지부터 시작하여 소실되고 흡수된다^{4,5)}.

투구 동작의 요약

야구의 투구에서 중요한 부분은 wind-up과 early cocking 시기이다⁹⁾. 투수의 던지기 동작의 기전(pitching mechanics)을 관찰할 때 중요한 포인트는 다음 세 가지이다.

1. 좌측 발의 착지(Left foot plant) (Fig. 2-C)

좌측 발이 우측 발의 범위 내에서 착지되고 타자를 향해 있는가?

좌측 발이 1루를 향한다면 투수의 체간은 open up 하게 되고, 3루를 향한다면 너무 오랫동안 closed되어 있게 된다.

2. 손이 글러브에서 나올 때 공위에 위치 (Hand on top of the ball as it comes out of the glove) (Fig. 1, Fig. 3-A)

손이 공 아래에 있게 되면, 팔의 과도한 외회전과 견관절 전방 불안정성을 유발하게 된다.

3. "V" (Fig. 2)

체간과 좌측 하지가 견관절을 중심으로 이루는 "V" 자세는 투수의 균형감각, 제구력 그리고 힘을 의미한다. 초보 투수는 투구 초기의 정확한 "V" 자세를 숙지하여야 한다³⁾.

결 론

신체의 한 부위에 증상이 발생하면 그 부위에 국한된 문제가 아니라 다른 부위에서 문제가 시작되어 나타날 가능성을 항상 염두에 두고 선수를 관리해야 한다. 또한 던지기 동작은 축구 킥 동작의 4배에 달하는 운동 에너지(27,000 inch/lb)가 요구되고 이러한 엄청난 회전력 때문에 손상의 가능성은 높아

지는 것이다⁴⁾. 적절하지 않은 투구 자세와 각 시기로의 연결은 제구력의 소실과 부상으로 가게된다.

따라서 투구 동작 분석은 선수의 능력 향상 뿐 아니라 손상의 예방에 매우 중요한 부분 중 하나가 된다.

참고문헌

1. **Axe MJ:** Evaluation and treatment of common throwing injuries of the shoulder and elbow. *Del Med J*, 59:593-598, 1987.
2. **Conway JE, Jobe FW, Glousman RE and Pink M:** Medial instability of the elbow in throwing athletes. Treatment by repair or reconstruction of the ulnar collateral ligament. *J Bone Joint Surg*, 74-A:67-83, 1992.
3. **Feltner M and Dapena J:** Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. *Int J Sports Biomech*, 2:235-259, 1986.
4. **Gainor BJ, Piotrowski G, Puhl J, Allen WC and Hagen R:** The throw: biomechanics and acute injury. *Am J Sports Med*, 8:114-118, 1980.
5. **Janda DH, Wojtys EM, Hankin FM and Benedict ME:** Softball sliding injuries. A prospective study comparing standard and modified bases. *JAMA*, 259:1848-1850, 1988.
6. **Kerlan RK, Jobe FW, Blazina ME, Carter VS, Shields CL Jr, Fox JM, Stokesbary DL and Carlson GJ:** Throwing injuries of the shoulder and elbow in adults. *Curr Pract Orthop Surg*, 6:41-48, 1975.
7. **Paley KJ, Jobe FW, Pink MM, Kvitne RS and ElAttrache NS:** Arthroscopic findings in the overhand throwing athlete: evidence for posterior internal impingement of the rotator cuff. *Arthroscopy*, 16:35-40, 2000.
8. **Petterone FA:** In "AAOS symposium on upper extremity injuries in athletes." pp 59-63, Saint Louis, 1986.
9. **Pink MM:** Understanding the linkage system of the upper extremity. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 9: 52-60, 2001.
10. **Tullos HS and King JW:** Throwing mechanism in sports. *Orthop Clin North Am*, 4:709-720, 1973.
11. **Turkel SJ, Panio MW, Marshall JL and Girgis FG:** Stabilizing mechanisms preventing anterior dislocation of the glenohumeral joint. *J Bone Joint Surg*, 63-A:1208-1217, 1981.
12. **Wells RP:** The projection of the ground reaction force as a predictor of internal joint moments. *Bull Prosthet Res*, 10-35:15-19, 1981.

= ABSTRACT =

Throwing Mechanics

Young-Lae Moon, M.D., Kyung -Il Lee, Ph.D.* , Kwang-Chul Lee, M.D.

*Department of Orthopaedic Surgery, College of Medicine, Chosun University, College of Physical Education, Chosun University, Gwangju, Korea**

Throwing motion divided by 6 phases such as wind-up, (early and late) cocking, acceleration, deceleration, follow-through. Overuse injuries in baseball result most often from pitching. Poor mechanics is the leading cause of arm injuries. The purpose of this article is to analyze the each joint motion and evaluate the biomechanics and pathomechanics during pitching.

Key Words: Biomechanics, Pathomechanics, Pitching, Motion analysis

Address reprint requests to **Young-Lae Moon, M.D.**

Department of Orthopaedic Surgery, Chosun University Medical College,

588 Seosuk-dong, Dong-gu, Gwangju, 501-717, Korea

TEL: 82-62-220-3140, FAX: 82-62-226-3379, E-mail: orthoped@chosun.ac.kr