

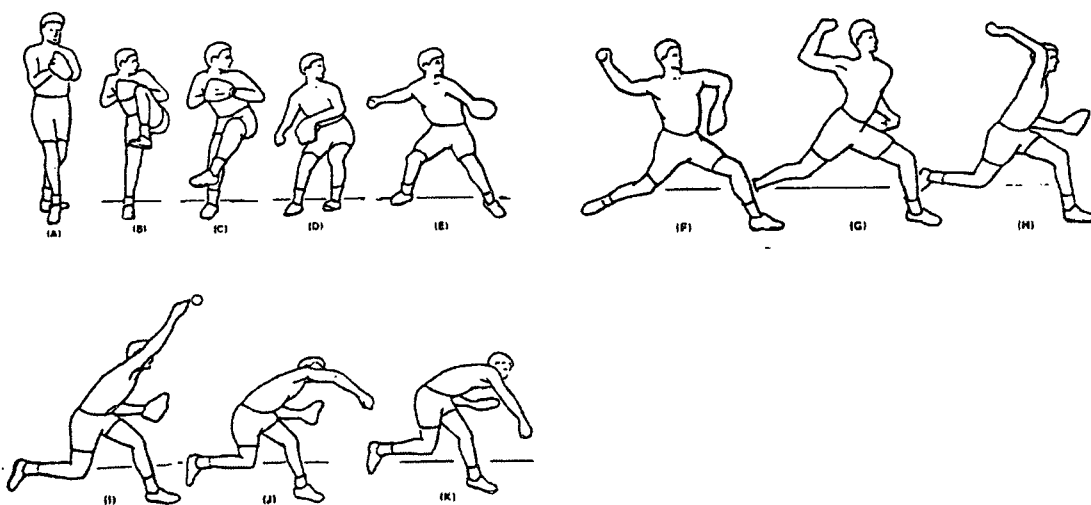
Athletic Shoulder I -Mechanics of Throwing-

문은선
전남의대 정형외과학교실

던지기는 상지의 가속과 감속을 필요로 함으로써 어깨와 팔꿈치에 상당한 forces 와 torque 를 필요로 하며, 반복적인 던지기의 동작은 과용 손상을 일으킬 수 있다. 정확한 던지기의 생역학을 이해하는 것은 투수의 성공과 관계가 있으며, 적절한 힘의 분배, 생역학, natural ability, proper conditioning, 적절한 회복기 등을 필요로 한다.

1. 투구동작의 단계 (Phases of pitching)

- ① 준비기(wind-up, A-C)
- ② 발동기(cocking, C-F)
- ③ 가속기(acceleration, H-I)
- ④ 감속기(deceleration, I-J)
- ⑤ 정리기(follow-through, J-K)

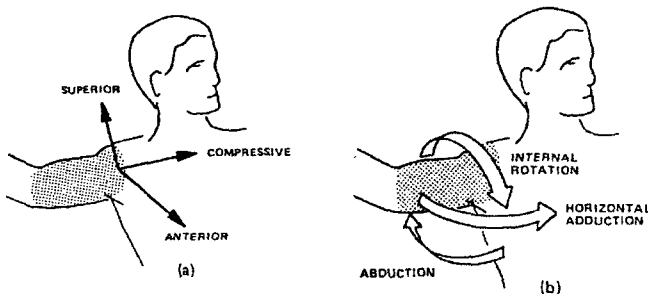


I. 준비기(Wind up)

- 목적은 투구의 좋은 위치를 잡는데 있으며, 투구나 던지기의 리듬을 마련한다.
- 우완 투수를 기준으로 좌측 고관절 굴곡근의 수축으로 슬관절을 최고 높이에 도달하게 함. 우측 다리는 대퇴사두근(Quadriceps)의 균형된 수축으로 안정감을 도모하고, 고관절 외전근이 등척성 수축(Isometric contraction)하여, 반대편 골반을 지지한다. 몸통은 회전하여 어깨와 고관절이 목표와 90 °를 이루게 된다.
- 기간: 0.5 초 ~ 1 초.
- 많은 투수에서 특히 초보에서 보이는 "Rush motion"은 하체와 상지간의 적절한 균형을 유지하지 못해 하지에서 상지로의 힘의 전달이 어렵게 되며, 이로 인한 상지의 과도한 힘을 필요로 하고 손상의 기회를 높일 수 있다.

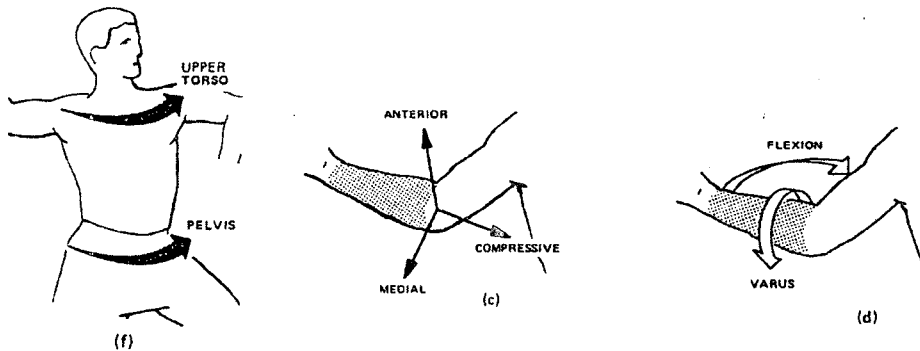
II. 발동기(Cocking)

- 볼이 던져지도록 온몸의 각 부분이 위치를 잡는 때.
- Foot contact(FC)에서 시작하여 견관절의 최대 외회전 동작(Maximum shoulder external rotation, MER)에서 끝난다. 들었던 다리가 지면에 닿으면서 다리와 몸통 그리고 팔을 통하여 공으로 에너지전환이 이뤄지고 끝난다.
- Shoulder joint는 수평상태에서 완전 신전되면서 외전되고 최대한 외회전한다. 최대 외회전과 더불어 견관절의 앞쪽 관절막은 최고의 탄력 상태로 꼬이면서 큰 부하를 받게 된다.
- 기간: 0.5 ~ 1 초. 준비기와 발동기는 통상 약 1.5 초로서 전체 투구 동작의 80%를 점유한다.
- Primary muscle involved (External rotator)
 Post. deltoid, Infraspinatus, Teres minor, Trapezius, Serratus anterior, Supraspinatus
- Stress involved
 Head of humerus forced forward(supraspinatus often injured here)
 Stress at origin of ant. deltoid and Pectoralis insertion
 Tendon of biceps long head placed under tension



III. 가속기(Acceleration)

- 견관절의 최대 외회전동작(Maximum shoulder external rotation, MER)에서 시작해서 Ball release(REL)에서 끝남, 단단하게 이뤄진 관절막의 섬유 조직에 저장되었던 탄력과 내 회전근에 의한 강한 내 회전력이 풀리는 시기.
- 주관절 신전은 상체의 회전에 의한 centrifugal force의 결과이지 삼두박근(Triceps)의 신전에 의한 것은 아니라고 생각되고 있음(삼두박근의 nerve block 후에도 마비전의 투구 속도의 80%이상을 얻을 수 있다는 보고가 있다)
- 기간: 0.03-0.04 초, 전체 투구 동작의 2%에 해당.
- primary muscle involved (internal rotation, abduction)
 Pectoralis major, Deltoid, Lstissimus dorsi, Subscapularis
- Stress involved
 Valgus stress to medial elbow
 Rotational injuries to humeral shaft
 Supraspinatus may be irritated by impingement under coracoacromial arch
 Forearm flexor muscle pull on medial epicondyle



IV. 감속기(Deceleration)

- Ball release(REL)에서 maximum shoulder internal rotation(MIR)까지.
- 공을 손에서 놓은 후 주관절 및 견관절에 큰 eccentric loads를 필요로 함. 이것이 견관절후방의 여러 조직들이 큰 스트레스를 받게 되는 결과이다. 이때의 힘은 약 135Kg 정도이며 상완골 두를 관절와로부터 밖으로 끌어내는데 기여함.
- 기간: 약 0.35 초. 던지기 동작 전체의 18%를 차지.

V. 정리기 (Follow-Through)

- 부상의 위험을 최소화할 수 있는 중요한 시기.

- 팔과 몸통의 후측에 생긴 대부분의 과용 손상들은 감속기나 follow-through 에 발생한다. 공을 가속시키기 위해 생성된 모든 에너지가 공을 던진 후에 방출되어야 되기 때문이다.
- 대부분 투수의 오른손 동작은 왼쪽 발 부근에서 마무리됨. 일부 overhand 투수의 경우에는 왼쪽 발목부근에서 끝나고, 반면에 overhand 투수의 3/4 은 왼쪽 무릎부근에서 끝난다. sidearm 투수의 경우에는 왼쪽 엉덩이부근에서 종료된다
- Primary muscle involved
 Subscapularis, Pectoralis major, Latissimus dorsi, Triceps, Forearm flexor, Pronator teres, Supinator & Biceps (esp. with curve ball)
- Stress involved
 Posterior capsule deltoid origin become stressed
 Anterior-inferior region stressed by internal rotation of humerus
 Long head of biceps stressed at origin
 Subluxation of glenohumeral joint

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

운동학적인 면에서 비교해서 속구와 슬라이더는 비슷하고 반면에 change-up 과 curveball 은 운동 범위와 관절의 속도가 적다는 점에서 비슷하다. 체인지업시에 속구, 커브, 슬라이더시보다 부하가 더 적게 걸린다. 커브볼의 투구법은 다른 투구법에 비해 medial elbow 에 보다 큰 변형력을 가하고, 체인지업은 지속적으로 가장 적은 분절 각 속도와 가장 적은 변형력을 견관절과 주관절에 가한다. 정확한 던지기의 역학을 아는 것은 투수와 코치로 하여금 최대 동작을 할 수 있게끔 하며, 각 관절에 대한 부하를 최소화 함으로써 손상 기회를 줄일 수 있게 한다. 던지기 역학의 이해는 의사, 트레이너, 치료사 및 건강 관리 전문가로 하여금, 투수의 컨디션, 치료 재활을 향상시키게 한다.

Table 1. 던지기 동작의 요약

Phase	Time	Motions	Loads	Muscle activity
Wind-Up : from first motion until hands separate	2	1. Back foot placed on rubber 2. Front leg lifted	Minimal	Minimal
Arm cocking : from FC until MER	0.03	1. pelvis rotates 2. upper torso rotates 3. Arm externally rotates	1. Anterior force and internal rotation torque at shoulder 2. Medial force and varus torque at elbow	rotator cuff
Arm acceleration : from MER until REL	0.03	1. Elbow extends 2. Arm internally rotates 3. Trunk tilts forwards	1. Flexion torque at elbow	1. Subscapularis & latissimus dorsi 2. Triceps & pronator teres 3. Trapezius

10th Annual Congress of K.S.E.S., March 22nd, 2002
 제 10차 대한 전·주관절 학회 학술대회, 2002, 03, 22

Arm deceleration : from REL until MIR	0.04	1. Arm internally rotates and horizontally adducts	1. compressive, posterior, inferior force at shoulder 2. compressive force at elbow	Teres minor
Follow-through : from MIR until balanced fielding position	1	1. Front knee extends 2. Trunk tilts towards 3. Arm horizontally adducts	1. Post. force & horizontal abduction torque at shoulder 2. Force in trunk & front leg	Minimal

TABLE 2. Shoulder biomechanics during pitching

Parameter	Fleisig Dillman Werner Feltner and Pappas et al.(3) et al(15) et al(9) Dapena(2) et al(28)					
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	
Subjects						
Sample size		26	29	7	8	15
Trials analyzed per subject		3	3	1	1	10
Pitch speed (m/s)		38.3±0.7	38±1 36.4		33.5	
Arm cocking						
Maximum anterior shear force(N)	380±90					
Maximum compressive force(N)	660±110					
Maximum horizontal adduction torque(Nm)	100±20				110±20	
Maximum external rotation torque(Nm)	67±11				90±20	
Maximum external rotation(deg)	178	185		170 ^a	160	
Maximum horizontal adduction(deg)		14				
Arm acceleration						
Abduction at release(deg)			95			90±10
Maximum internal rotation velocity(deg/s)	6940			6100±1700	6180	
Arm deceleration						
Maximum posterior shear force(N)	400±90					
Maximum inferior shear force(N)	310±80					
Maximum compressive force(N)	1090±110		860±120			
Maximum adduction torque(Nm)	83±26					
Maximum horizontal abduction torque(Nm)	97±25					

^aAngle measurements were converted from published values into values consistent with standard anatomical definitions.

From Fleisig GS, Dillman CJ, Escamilla RF, Andrews JR. Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *Am J sports Med* 1995;23:233. adapted with permission.

3. 참고 문헌

1. Dillman CJ, Fleisig GS, Andrews JR. Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1993;18:402
2. Fleisig GS. The biomechanics of baseball pitching. University of Alabama at Birmingham, 1994. Dissertation
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. Elliott B, Anderson G. Age related differences in high performance overarm throwing patterns. *J Hum Movement Stud.* 1990;18(1):1
6. Andrews JR, Kupferman SP, Dillman CJ. Labral tears in throwing and racquet sports. *Clin Sports Med.* 1991;10:901
7. Ahn BH. A model of the human upper extremity and its application to a baseball pitching motion. Michigan state University, 1991. Dissertation
8. Fleisig GS, Dillman CJ, Andrews JR. A biomechanical description of the shoulder joint during pitching. *Sports Med Update* 1991;6(3):10
9. Snyder SJ, Karzel RP, Del Pizzo W, Ferkel RD, Friedman MJ. SLAP lesions of the shoulder. *Arthroscopy.* 1990;6(4):274
10. Dillman CJ. Proper mechanics of pitching. *Sports Med Update.* 1990;5(2):15