

# 주관절의 생역학

고려대학교 의과대학 정형외과학교실

문준규

## Biomechanics of the Elbow

Jun-Gyu Moon, M.D.

*Department of Orthopaedic Surgery, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea*

**Purpose:** Understanding elbow biomechanics is necessary to understand the pathophysiologic mechanism of elbow injury and to provide a scientific basis for clinical practice. This article provides a summary of key concepts that are relevant to understanding common elbow injuries and their management.

**Materials and Methods:** The biomechanics of the elbow joint can be divided into kinematics, stability and force transmission through the elbow joint. Active and passive stabilizers include bony articular geometry; soft tissues provide joint stability, compression force and motion.

**Results and Conclusion:** Knowledge of elbow biomechanics will help (i) advance surgical procedures and trauma management, (ii) develop new elbow prostheses and (iii) stimulate future research.

**Key Words:** Elbow joint, biomechanics, stability

### I. 서 론

생역학은 생체에서 일어나는 힘과 그 힘의 영향에 대해 연구하는 학문 (the science that study forces acting upon and within a living things and effects produced by such forces)이다<sup>13)</sup>. 생체에서 힘은 운동을 발생시키기 때문에 결국 생역학은 힘 (kinetics, 동역학)과 운동 (kinematics, 운동학)을 다루는 학문이라고 할 수 있다. 주관절에서 임상적으로 중요한 생역학은 운동 (motion)과 안정성 (stability)

에 관한 부분이다. 이 상반되는 두 작용의 조화(balance)가 일상 생활이나 스포츠 활동에서 필요하며, 외상 등으로 인해 어느 역할의 손상이 발생했을 때 주관절의 능률은 감소한다.

### II. 운동학 (Mobility, Kinematics)

건관절 운동이 손을 움직일 수 있는 구 (sphere)의 표면에 닿게 하는 동작이라면 주관절 운동은 구의 내면에 손을 가져가는 운동이다. 주관절의 운동은 두 가지

※통신저자: 문준규

서울특별시 구로구 구로동길 97

고려대학교 구로병원 정형외과

Tel: 02) 2626-1163, Fax: 02) 2626-1164, E-mail: moonjg@korea.ac.kr

접수일: 2010년 5월 10일, 게재 확정일: 2010년 6월 16일

자유도 (degree of freedom: 굴곡/신전, 회내/회외) 운동으로 건관절 운동 범위와 비교하면 비교적 제한되어 있다. 주관절은 원위 상완골의 활차와 소두, 근위 척골 및 근위 요골이 만나는 3개의 관절 (척-상완, 요-상완, 근위 요-척골 관절)로 구성되어 있다. 정상 주관절의 운동범위는 신전/굴곡: 0/140도, 회내/회외: 75/85도이며 일상생활에 필요한 운동범위는 30/130도, 50/50도로 알려져 있다<sup>5)</sup>. 하지만 회내전은 50도 미만이어도 건관절의 내회전으로 보상이 되지만 회외전은 50도 보다 많은 각도가 일상생활에 필요할 때가 있다.

### 1. 굴곡-신전 (Flexion-extension)

척-상완 및 요-상완 관절에서 일어나며 일정한 회전축 (instant center of rotation, ICR)에서 일어난다. 1909년 Fischer 등은 ICR의 locus가 활차의 중심에서 2~3 mm 범위에 존재한다고 발표하였다<sup>10)</sup>. 이후 비슷한 실험을 통해 밝혀진 바로는 회전축이 축상면에서는 상과면에 대해 3~8도 내회전, 관상면에서는 상완골 장축과 직각이 아닌 4~8도 정도로 열려 있는 각도에 존재한다<sup>6)</sup>. 하지만 실제로 회전축의 변화는 미세하여 단일한 회전축에서 움직이는 경첩 관절 (hinge joint)로 생각할 수 있다. 이 회전축은 외상과의 중심과 내상과의 전하방의 점을 지나간다. 이 회전축은 임상적으로 경첩 관절성의 외고정 장치, 주관절 인대 재건술 및 주관절 치환술에서 응용되고 있다<sup>11)</sup>.

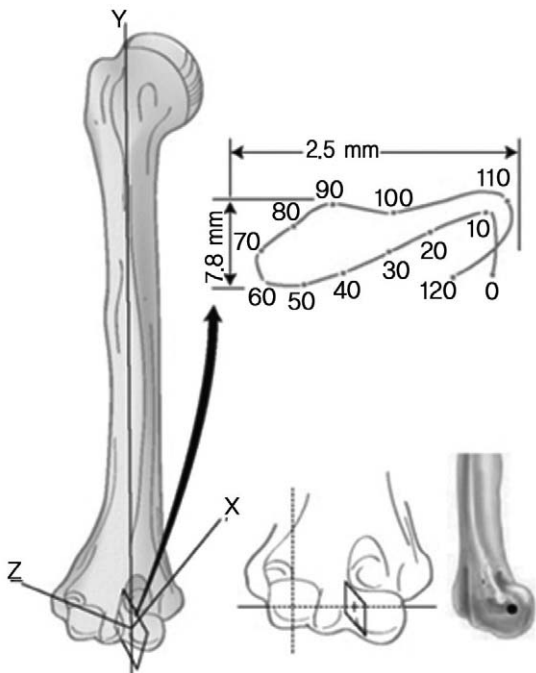


Fig. 1. 주관절 굴곡-신전의 회전축.

### 2. 회전운동 (Rotation)

근위 요척관절에서 일어나고 주관절의 위치에 상관없이 회전축은 요골두의 중심에서 원위 요척관절의 척골의 중심을 지난다. 이 회전축은 요골 경부의 장축을 지나며 이는 요골두 치환술시 요골두 절제시 중요한 표지가 될 수 있다<sup>25)</sup>. 요골두 치환술시 인공 요골두가 회전축에 맞지 않으면 부정주행 (maltracking)이 발생할 수 있으므로 주의해야 한다<sup>28)</sup>.

### 3. 운반각 (Carrying angle)

상완골의 장축과 척골의 장축이 이루는 각으로 남자에서 10~15도이며 여자는 5도정도 더 증가되어 있다. 주관절이 신전에서 굴곡될 때 운반각은 감소한다.

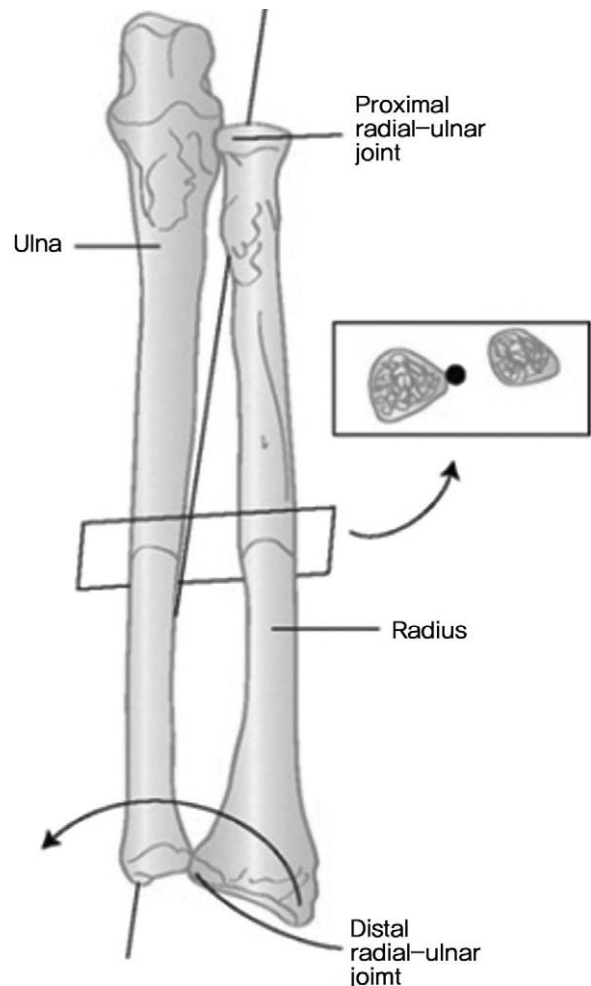


Fig. 2. 전완부 회내-회외 운동의 회전축.

### III. 안정성 (Stability)

주관절은 인체의 관절 중에서 가장 관절면이 서로 일치되어 (congruous) 있는 안정된 관절이다. 이 안정성은 골관절면과 이를 둘러싼 연부조직의 역할로 이루어진다. 골관절면은 구상돌기, 주두 및 요골두가 관절의 안정성에 기여하며, 연부조직은 크게 전방 관절낭과 내외 관절낭이 두꺼워져 형성된 측부인대 복합체로 나눈다<sup>1,9)</sup>.

#### 1. 골성 안정성 (Osseous stabilization)

구상돌기 (coronoid)는 주관절의 후방탈구를 막는 중요한 구조로 특히 전방 관절낭, 내측측부인대 및 상완근이 부착되어 있어 안정성에 기여한다<sup>7)</sup>. 50%이상의 구상돌기가 골절되면 측부인대의 손상여부에 상관없이 주관절의 내-외반 불안정성과 후방 탈구가 증가한다. 한편 최근 구상돌기의 전내측 골편의 골절은 외측 측부인대 파열과 동반되어 후외방 회전 불안정성을 초래하는 병변으로 알려지고 있다<sup>19,23)</sup>.

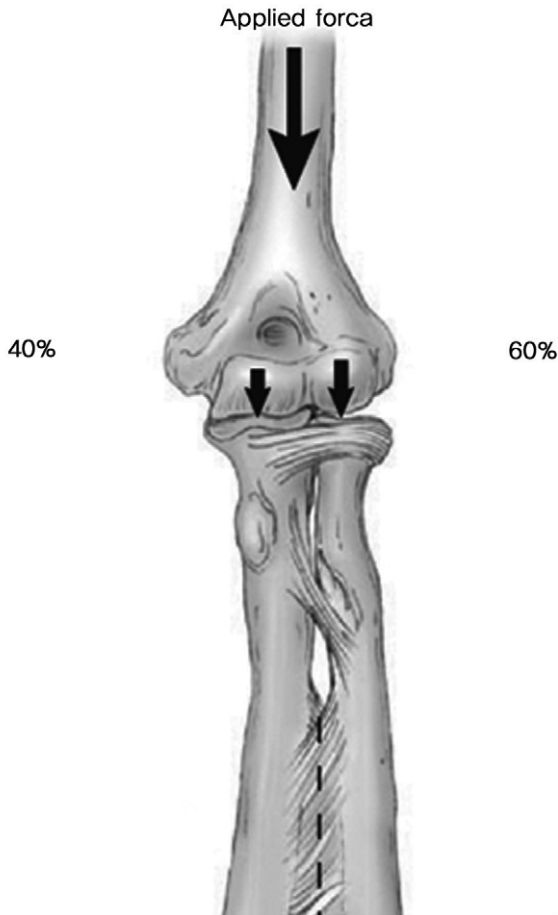


Fig. 3. 주관절 신전시 측성부하의 전달

주두 (olecranon)는 주관절의 안정성에 상관없이 80% 정도까지 제거할 수 있다고 알려져 있다<sup>4)</sup>. 하지만 다른 동반 골절이 있거나 젊은 환자에서는 절제술을 피하는 것이 좋으며 이는 50%이상의 주두 절제술이 관절면의 압력을 증가시켜 장기 합병증으로 관절염을 야기할 수 있기 때문이다. 요골두 (radial head)는 주관절의 외반력에 저항하는 이차 안정구조물로 일차구조물인 내측측부인대 손상 시에 주 안정물로 작용한다<sup>18,24)</sup>. 또한 외측 척골측부인대와 함께 후외방 회전안정성에도 기여하는 것으로 알려지고 있다<sup>6)</sup>.

#### 2. 연부 조직 안정성 (Soft tissue stabilization)

내측 측부인대 복합체는 전방속 (anterior bundle), 후방속 (posterior bundle) 및 횡인대 (transverse ligament)로 구성된다. 이 중 전방속은 상완골 내상과에서 척골의 구상돌기 내측에 부착하며 주관절 외반력의 1차 안정 구조물로 작용한다. 후방속은 얇은 막처럼 구성되어 있고 90도 이상 굴곡 시 안정성에 기여하며 횡인대는 주관절을 건너지 않은 구조물로 안정성에 기여하지 않는다<sup>26,27)</sup>.

외측 측부인대 복합체는 요측부인대 (radial collateral ligament), 윤상인대 (annular ligament), 외측 척골측부인대 (lateral ulnar collateral ligament), 부요측부인대 (accessory radial collateral ligament)로 구성되어 있다. 외측 척골측부인대는 외상과에서 기시하여 척골의 회외근 능선 (supinator crest)에 부착하며 내반 및 외회전에 대한 1차 안정 구조물로 알려져 있다<sup>22)</sup>. 특히 이 인대의 파열은 후외방 회전불안정성 (posterolateral rotatory instability)을 야기시킨다<sup>8,20,21)</sup>.

### IV. 주관절 동역학 (Force transmission, Kinetics)

주관절에 작용하는 굴곡 및 신전근육들은 비교적 짧은 레버암 (lever arm)을 가지고 있어 동역학적으로는 비효율적이며 따라서 물체를 들거나 밀 때 큰 힘을 필요로 한다.

#### 1. 근력

주관절의 굴곡 및 신전은 상완이두근, 상완근, 삼두근의 주근육으로 발생한다. 주관절의 등척 굴곡력 (isometric force of the flexor)은 90도 굴곡 상태와 회외전 (supination)에서 최대를 나타내며 남자가 여자보다 두 배 정도 높으며 최대 등척 토크 (maximum

isometric torque)는 남자의 평균값이 7 kg·m 정도이다. 굴곡근의 등척 근력은 신전근보다 약 40% 정도 높다. 무거운 물건을 들 때 주관절이 30도로 굴곡 또는 신전이 되면 체중의 약 3배 가량의 힘이 주관절에 전달된다. 이러한 주관절의 힘의 전달 현상으로 체중부하관절 (weight bearing)과 같이 여겨지기도 한다<sup>15)</sup>.

## 2. 힘의 전달 분포 (Distribution of the force transmission)

주관절의 관절면 압박력은 내외측 방향보다는 시상면의 전후방 방향으로 골곡 각도에 따라 주로 변한다. Halls 등은 1964년 사체를 이용한 연구에서, 주관절의 신전한 상태에서 수부에서 부하를 주었을 때 57%의 힘이 요-상완관절로, 43%의 힘이 척-상완관절로 각각 전달된다고 발표하였다<sup>12)</sup>. 이후 많은 저자들에 의해 실험 결과가 발표되었는데 척-상완관절로의 힘의 전달은 9~40%로 요-상완관절에 비해 적은 것으로 보고되었다<sup>3)</sup>. Markolf 등은 주관절의 위치, 특히 외반내반에 따라 힘의 전달이 크게 달라지며 요-척골의 길이 에 따라서도 변화한다고 발표하였다<sup>16)</sup>. 요-상완관절에 보다 많은 힘이 전달되는 현상은 사체의 관절면 연구에서 입증되기도 하였다<sup>11)</sup>. 하지만 임상적으로는 척-상완관절이 퇴행성 관절염이 보다 흔하고 진행된다는 점은 상충되기도 한다<sup>14)</sup>.

주관절의 굴곡시에는 전완부가 내회전하면서 관절면에 더 많은 회전력 (torque)이 부하된다. 이론적으로 이 힘은 내측측부인대에 체중의 두 배, 요-상완관절에는 체중의 3배 정도의 힘이 전달된다. 또한 요-상완관절면의 힘은 회내전상태에서 보다 높다<sup>17)</sup>.

일상생활에서 주관절에 작용하는 힘에 대한 자료는 정확하게 알려져 있지 않지만 일부 연구에 의하면 요-상완 및 척-상완관절뿐 아니라 측부 인대에도 상당한 힘이 발생하는 것으로 알려져 있다<sup>2)</sup>. 팔굽혀펴기에는 체중의 45%, 낮은 높이의 낙상 시 손을 짚는 경우에는 체중의 50%가 주관절에 부하된다. 스포츠에서는 머리위로 공을 던지는 자세에서 특히 가속 (acceleration) 단계에서 요-상완관절면에 500 N의 압박력이 부하된다.

## REFERENCES

- 1) Alcid JG, Ahmad CS, Lee TQ: *Elbow anatomy and structural biomechanics. Clin Sports Med*, 23:503-517, 2004.
- 2) Amis AA, Dowson D, Wright V: *Elbow joint force predictions for some strenuous isometric actions. J Biomech*, 13: 765-775, 1980.
- 3) An KN, Himeno S, Tsumura H, Kawai T, Chao EY:

*Pressure distribution on articular surfaces: Application to joint stability evaluation. J Biomech*, 23: 1013-1020, 1990.

- 4) An KN, Morrey BF, Chao EY: *The effect of partial removal of proximal ulna on elbow constraint. Clin Orthop Relat Res*, 209: 270-279, 1996.
- 5) An KN, Zobitz ME, Morrey BF: *Biomechanics of the elbow. In: Morrey BF, editor. The elbow and its disorder. 4th ed, Philadelphia, Saunder: 39-60, 2009.*
- 6) Bryce CD, Armstrong AD: *Anatomy and biomechanics of the elbow. Orthop Clin North Am*, 39: 141-154, 2008.
- 7) Cage DJ, Abrams RA, Callahan JJ, Botte MJ: *Soft tissue attachments of the ulnar coronoid process. An anatomic study with radiographic correlation. Clin Orthop Relat Res*, 320: 154-158, 1995.
- 8) Cohen MS, Hastings Jr H: *Rotatory instability of the elbow. The anatomy and role of the lateral stabilizers. J Bone Joint Surg Am*, 79: 225-233, 1997.
- 9) Cohen MS, Bruno RJ: *The collateral ligaments of the elbow: anatomy and clinical correlation. Clin Orthop Relat Res*, 383: 123-130, 2001.
- 10) Fischer G, Fick R: *Handbuch der anatomie und mechanik du gelenke, unter berucksichtigung der bewegenden muskeln. Jena*, 2: 299, 1911.
- 11) Goodfellow JW, Bullough PG: *The pattern of aging of the articular cartilage of the elbow joint. J Bone Joint Surg Br*, 49: 175-181, 1967.
- 12) Halls AA, Travill A: *Transmission of pressures across the elbow joint. Anat Rec*, 150: 243-247, 1964.
- 13) Knudson DV: *Fundamentals of Biomechanics, 2nd ed. New York, Springer, 2007.*
- 14) Lim YW, van Riet RP, Mittal R, Bain GI: *Pattern of osteophyte distribution in primary osteoarthritis of the elbow. J Shoulder Elbow Surg*, 17: 963-966, 2008.
- 15) Lockard M: *Clinical biomechanics of the elbow. J Hand Ther*, 19: 72-80, 2006.
- 16) Markolf KL, Lamey D, Yang S, Meals R, Hotchkiss R: *Radioulnar load-sharing in the forearm. A study in cadaver. J Bone Joint Surg Am*, 80: 879-888, 1998.
- 17) Morrey BF, An KN, Stormont TJ: *Force transmission through the radial head. J Bone Joint Surg Am*, 70: 250-256, 1998.
- 18) Morrey BF, Tanaka S, An KN: *Valgus stability of the elbow. A definition of primary and secondary constraints. Clin Orthop Relat Res*, 265: 187-195, 1991.
- 19) O'Driscoll SW, Jupiter JB, Cohen MS, Ring D, Mckee MD: *Difficult elbow fractures: pearls and pit-fall. Inst Course Lect*, : 52: 113-134, 2003.
- 20) O'Driscoll SW, Bell DF, Morrey BF: *Posterolateral rotatory instability of the elbow. J Bone Joint Surg Am*, 73: 440-446, 1991.
- 21) O'Driscoll SW, Horii E, Morrey BF, Carmichael S: *Anatomy of the ulnar part of the lateral collateral ligament of the elbow. Clin Anat*, 5: 296, 1992.

- 22) **Olsen BS, Vaesel MT, Sojbjerg JO, Helmig P, Snep-pen O:** *Lateral collateral ligament of the elbow joint: Anatomy and kinematics. J Shoulder Elbow Surg, 5: 103-112, 1996.*
- 23) **Pollock JW, Brownhill J, Ferreira L, McDonald CP, Johnson J, King G:** *The effect of anteromedial facet fractures of the coronoid and lateral collateral liga-ment injury on elbow stability and kinematics. J Bone Joint Surg Am, 91: 1448-1458, 2009.*
- 24) **Pomianowski S, Morrey BF, Neale PG, Park MJ, O'Driscoll SW, An KN:** *Contribution of monoblock and bipolar radial head prostheses to valgus stability of the elbow. J Bone Joint Surg Am, 83: 1829-1834, 2001.*
- 25) **Roidis N, Stevanovic M, Martirosian A, Abbott DD, McPherson EJ, Itamura JM:** *A radiographic study of proximal radius anatomy with implications in radial head replacement. J Shoulder Elbow Surg, 12: 380.-384, 2003.*
- 26) **Safran MR, Baillargeon D:** *Soft tissue stabilizers of the elbow. J Shoulder Elbow Surg, 14: 179-185, 2005.*
- 27) **Sojbjerg JO, Ovesen J, Nielsen S:** *Experimental elbow instability after transection of the medial collateral lig-ament. Clin Orthop Relat Res, 218: 186-190, 1987.*
- 28) **VanGlabbeek F, VanRiet RP, Baumfeld JA, Neale PG, O'Driscoll SW, Morrey BF, An KN:** *Detrimen-tal effects of overstuffing or understuffing with a radial head replacement in the medial collateral-ligament deficient elbow. J Bone Joint Surg Am, 86: 2629-2635, 2004.*

## 초 록

**목적:** 주관절의 생역학은 주관절 손상의 병인을 이해하고 임상적 치료의 과학적 기초를 제공하는 의학이다. 저자는 생역학적인 관점에서 주관절 손상의 진단과 치료의 개념을 요약하였다.

**대상 및 방법:** 주관절 역학은 크게 운동학, 동역학 그리고 이를 바탕으로 한 안정성의 분야로 나누어 설명할 수 있다. 이는 주관절을 구성하는 수동적 또는 능동적 구조물로 유지된다. 수동적 구조물은 골성 구조와 관절낭 및 측부인대들이 있으며 능동적 구조물은 주관절을 둘러싼 근육들이 해당된다. 이 구조물들이 유기적으로 작용하여 주관절의 안정성, 힘의 전달 그리고 운동을 유지한다.

**결과 및 결론:** 주관절의 생역학은 주관절 손상에 대한 수술적 치료에 대한 정보를 제공하며 새로운 주관절 인공대치물에 대한 개선 및 발전을 가져다 주며, 또한 주관절의 기초 연구에 기여 할 수 있는 학문이다.

**색인 단어:** 주관절, 생역학, 안정성