

주관절의 해부학 및 생역학

이화의대 정형외과학교실

신 상 진

주관절의 해부학

주관절은 상지에서 견관절과 수부의 연결 역할을 하는 중요한 관절이다. 상지의 가장 원위부에 위치한 손의 기능을 원활히 발휘하기 위해 견관절과 주관절은 조화를 이루며 움직이는데 견관절은 손의 위치 및 전체적인 윤곽을 정해주고, 주관절은 굴곡 및 신전 운동으로 손의 높이를 조절하여 정확하게 물체에 손이 접근 가능하게 하며, 전완을 회전시켜서 수근관절의 굴신으로 손이 일을 하는데 유효하도록 위치를 정해준다. 기능적으로 주관절은 넓은 운동범위의 견관절과 여러 관절이 복합적으로 작용을 하는 수부의 기본적인 기능들을 담당하기 위한 중간 매개체의 역할을 담당한다.

1. 상완골

해부학적으로 주관절은 상완골의 하단과 요골과 척골의 상단으로 이루어진 관절이다. 주관절은 일종의 나사 운동을 포함한 경첩 관절(trochoginglymoid joint)로서 굴곡-신전을 가능하게 하는 척골-상완 관절(hinge joint)과 회전 운동(trochoid)이 주작용인 요골-상완 관절과 근위 요골-척골 관절로 구성되어 있다. 상완골은 하단에 근접하면서 전후 직경이 짧고 얇아지며, 옆으로 넓어지면서 두꺼운 내과와 외과(medial and lateral condyle)를 형성한다. 내측 주(column)는 상완골 중심축과 45° 각도를 이루며 외측 주는 20° 각도를 유지한다. 양측의 상과는 관절낭 밖에 위치하며 내과 직상부의 내상과(medial epicondyle)는 굴곡-회내근(flexor-pronator)과 척측 측부 인대(ulnar collateral ligament)의 기시부를 제공하고, 외상과(lateral epicondyle)에서는 신전-회외근(extensor-supinator)과 외측 측부 인대(lateral collateral ligament)가 기시한다. 내과의 활차(trochlea)는 활차 절흔(sigmoid notch)과 함께 척골-상완 관절을 형성한다. 활차 부분은 330° 정도 관절 연골로 덮인 실패(spool)모양으로 척골의 활차 절흔과 관절을 이루며 활차의 내측은 외측보다 크고 원위부로 돌출되어 있다. 이러한 주관절의 회전축은 활차 중심의 2-3mm 부분에 위치하는 것으로 알려져 있다. 활차 직상부에는 전방에 구상와(coronoid fossa)를 후방에 주두와(olecranon fossa)를 형성하며, 이는 주관절 굴곡 시 척골의 구상 돌기와 그리고 신전 시 주두 돌기(olecranon process)와 맞물리게 되어 있다. 소두(capitellum)는 활차 돌기와 활차-소두 구로 활차와 경계를 이루며 요골두 상단의 오목한 면과 요골-상완 관절을 이루고 있다. 소두는 180° 정도 관절면을 형성하며 상완골의 중심축보다 전방으로 위치함으로써 굴곡-신전 궁(arc)을 크게 하는 역할을 한다. 주관절을 형성하는 활차와 소두로 이루어진 상완골 하단 관절면은 상완골 중심축보다 30° 전방 굴곡, 6~8° 외반, 5~7° 내회전되어 있다(Fig. 1).

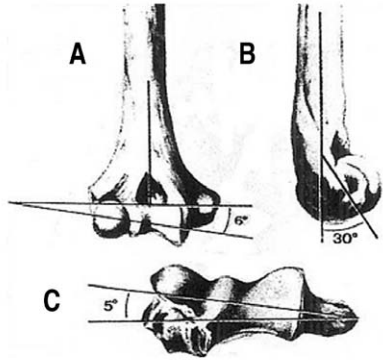


Fig. 1. 상완골 하단부

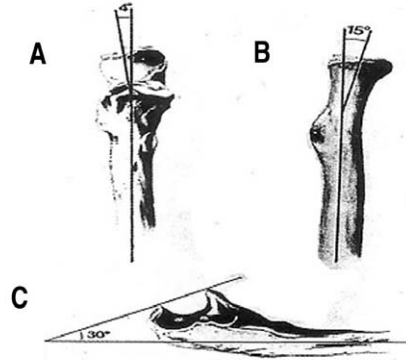


Fig. 2. 근위 요골 및 척골

2. 근위 척골

주두골은 피하에 위치해 있어 직접적인 외상에 의해 손상받기 쉬우며 주두 전면에 활차 절흔이 있어 상완골 활차와 관절을 형성하고, 전후면상의 운동만 가능하게 한다. 활차 절흔은 척골 장축에 30° 후방으로 향하고 있어 상완골 하단의 30° 전방 굴곡과 완벽한 관절을 이루어 주관절에 안정성을 제공하며, 1°-6° 내전되어 있어 운반각 형성에 기여한다(Fig. 2). 주두의 골화 중심은 10세경에 나타나 16세경에 척골과 유합되는데, 성인이 되어서도 유합되지 않고 남는 경우와 상완 삼두근이 주두 돌기에 종지하는 위치에 생기는 부골은 골절과 감별을 요한다.

3. 근위 요골

요골두 상단의 오목한 면은, 외과의 소두와 요골-상완 관절을 이루고 있다. 요골 두의 측면은, 바퀴 같은 환상 관절 면을 이루면서 척골의 요골 절흔(radial notch)과 함께 근위 요골-척골 관절을 이룬다. 요골두는 240°의 범위에서 근위 요골-척골 관절과 접촉을 하고 나머지 120°는 비 접촉 부위 (safety arc)로 요골두의 골절시 내고정시에는 이러한 관절면의 접촉 부위를 염두에 두고서 고정을 해야 한다. 요골두 전외측 1/3은 관절하골(subchondral bone)이 없는 약한 부위로 이 부위에서 골절이 잘 유발된다고 알려져 있다. 요골두는 요골 장축에 대하여 15° 각도를 이룬다. 요골두 함몰 부분의 굵은 약 40° 정도이며 상완 외과 소두와 180° 정도의 운동 범위를 보인다.

4. 관절 낭

주관절 관절 낭은 근위부에서는 구상와 및 주두와에서 시작하여, 원위부로는 주두 절흔, 요골 절흔 및 요골 경부까지 감싼다. 관절 낭은 얇고 유연하며 여유가 있어 비교적 넓은 영역의 굴신 운동을 가능하게 한다. 전방 관절막은 얇고 투명한 막으로서 원위부에서는 구상돌기 끝의 약 6 mm 정도 원위까지 내려와서 부착을 하게 된다. 전방 관절막은 신전 위치에서 외반-내반의 안정 구조물 역할의 30~40%정도를 담당하고 신연력(distraction force)에는 대한 저항은 85%정도를 담당하는 것으로 알려져 있다. 90° 굴곡 위치에서는 신연력에 저항하는 역할은 8%정도밖에 기여하지 못한다. 관절막 주머니의 평균 관절액의 용량은 약 25~30 ml 정도이고 80° 정도 주관절을 굴곡한 상태에서 최대용적을 보이게 된다.

5. 인대

관절 낭 내측과 외측은 비후되어 측부 인대를 형성하여 주관절의 내 외측 안정성에 기여한다.

1) 내측 측부 인대 구조물 (Medial collateral ligament complex)

내측 측부 인대는 전방 속 (anterior bundle) 및 후방 속 (posterior bundle) 및 횡 인대(transverse ligament, ligament of Cooper)로 구성된다(Fig. 3). 내측 측부 인대의 기시부는 주관절 중심축보다 약간 후방에 위치하여 관절 낭을 보강하며, 주관절 운동시 cam effect로 굴곡 증가와 함께 인대 긴장도도 증가한다. 전방 속은 상완골 내상과의 67% 면적에서 기시하여 척골 구상 돌기 내측에 부착하는 데 주관절에 가해지는 외반력과 내회전력에 길항하는 가장 중요한 구조물이다. 전방 속은 기능적으로 전방 대 (anterior band)와 후방 대 (posterior band)로 구분된다. 전방 대는 신전이나 60° 까지 굴곡 운동시 긴장되며 후방 대는 60~120° 사이의 굴곡 운동에서 긴장된다. 후방 속은 얇고 약하며 관절낭이 두꺼워진 부채 모양으로, 주관절 터널의 바닥을 형성하고 주로 주관절을 90° 이상 굴곡한 후 안정에 기여하는 것으로 알려져 있다. 관절 낭 내측 원위부의 비후된 부분인 횡 인대는 척골에서 기시하여 척골에 종지하므로 (coracoid process부터 olecranon tip) 주관절 안정성에는 큰 기여를 하지 않으며, 주두 절흔을 깊게 하는 역할을 하는 것으로 이해되고 있다.

2) 외측 측부 인대 구조물 (Lateral collateral ligament complex)

주관절의 외측 측부 인대는 일관성을 가진 내측 측부 인대와는 달리 구분이 잘 되지 않으며 개인차가 있다. 외측 측부 인대 구조물은 1) 요측 측부 인대 (radial collateral ligament) 2) 윤상 인대 (annular ligament) 3) 부외측 측부 인대 (accessory lateral collateral ligament) 4) 외척측 측부 인대 (lateral ulnar collateral ligament)로 구성된다(Fig. 4). 요측 측부 인대는 외상과에서 기시하여 윤상 인대에 부착하는 20 mm 정도의 길이를 가진 인대로서 주관절 굴곡 신전 운동 전반에 걸쳐 항상 긴장되어 있다. 윤상 인대는 활차 절흔의 전후방에서 기시 및 종지하며 회외근 기시부 역할도 하고 요골두를 척골에 밀착시키는 역할을 한다. 윤상 인대는 원위부가 가늘어지는 깔대기 모양이며 회외 운동시 전방이, 회내 운동시 후방이 긴장된다. 외척측 측부 인대는 외상과에서 기시하여 윤상 인대 표면을 지나면서 합쳐져, 회외근 능선(supinator cisterna)에 도달하며, 내반력에 대한 길항 작용을 한다. 외척측 측부 인대는 주관절 안정성 특히 후외측 회전 안정성 유지에 중요한 역할을 하며 손상 시에 주관절 탈구의 원인이 된다.

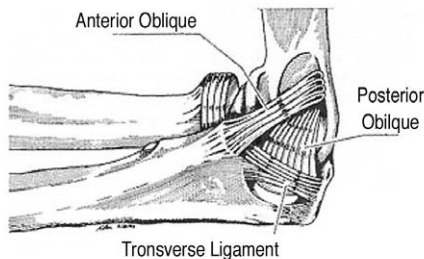


Fig. 3. 내측 측부 인대 구조물

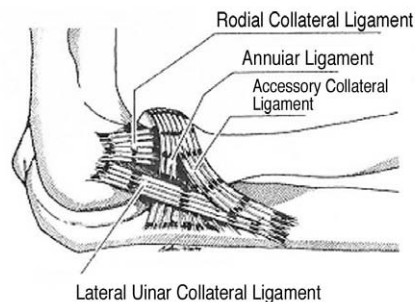


Fig. 4. 외측 측부 인대 구조물

6. 근육

주관절 주변에는 크게 네 군의 근육들이 있다. 즉 1) 전방 이두근, 2) 후방 삼두근, 3) 외측 신전-회외근, 4) 내측 굴곡-회내근들이다. 주관절 굴곡에 작용하는 주근육은 상완근, 상완 이두근, 상완요근이며 부근육으로 원형 회내근 (pronator teres), 장 요수근 신근 및 요수근 굴근 (50° 이상 굴곡시) 등이 있다. 상완 이두근은 전완부가 중립위나 회외 위치에서는 주로 작용하며 상완요근은 주관절의 빠른 굴곡 작용시나 무거운 물건을 들고 천천히 굴곡할 때 주로 작용한다. 주관절 신전은 상완 삼두근, 주근 (anconeus)이 주로 작용하며, 척수근 굴근 및 척수근 신근이 도와주는 근육들이다. 상완 삼두근의 세 기시부 중 내측두가 주로 신전 작용을 하며 주근은 신전 초기나 유지에 작용한다. 전완부 회외 작용은 회외근, 상완 이두근 및 외상과에 붙는 수부와 완관절의 신전근들이다. 회외 운동의 주근육은 상완 이두근이다. 전완부 회내 작용에 관여하는 근육은 방형 회내근 (pronator quadratus)과 원형 회내근 이다. 방형 회내근은 전완부 위치나 굴곡 정도에 관계없이 주 회내 근육이며 원형 회내근은 빠른 회내 운동이나 저항 있는 회내 운동시 작용한다. 개인적인 차이가 있지만 회외 근력이 회내 근력보다 20~30% 강하며, 굴곡 근육이 신전 근육보다 30% 강하고 남자가 여자보다 주관절 운동력이 40% 강하다.

7. 혈관과 신경

주관절을 지나는 중요한 혈관과 신경에 대한 해부학을 정리를 하면 다음과 같다. 상완 동맥은 상완 이두근의 내측을 주행하는 전주와 (antecubital fossa)에서 요골 동맥과 척골 동맥으로 분지한다. 이들 세 개의 동맥에서 나온 분지들은 주관절의 주위에서 풍부한 교통 (anastomosis)을 하면서 주관절 부위에 혈액을 공급한다. 상완골 외상과의 앞과 뒤에서는 심부 상완 동맥 (deep brachial artery)의 전방 분지와 요측 회귀 동맥 (radial recurrent artery)이 교통하고, 그 후방 분지와는 골간 회귀 동맥 (interosseous recurrent artery)과 교통한다. 내상과의 전방에서는 전 척측 회귀 동맥 (anterior ulnar recurrent artery)과 하 척측 측부 동맥 (inferior ulnar collateral artery), 후방에서는 후 척측 회귀 동맥 (posterior ulnar recurrent artery)과 상 척측 측부 동맥 (superior ulnar collateral artery)이 교통한다. 요골 동맥은 전완부에서 수지 굴곡근들의 위에 있고, 상완 요근에 덮여 있다. 척골 동맥은 원형 회내근의 기시부를 뚫은 다음, 수지 굴곡근의 위, 그리고 척수근 굴근에 덮여 원위부로 진행한다.

신경의 해부학적 구조인 정중 신경, 척골 신경 및 요골 신경은 주관절 이하 부위의 근육을 지배한다. 정중 신경은 상완 원위부에서 상완 동맥 내측에 자리하며, 원형 회내근 및 천 수지 굴근의 양 두 사이를 지나 전완부로 들어간다. 척골 신경은 상완부에서 내측 근간 격막 (medial intermuscular septum)의 뒤쪽, 그리고 상완 삼두근의 전방에 있다. 주관절 부위에서는 내 상과의 후방에 있는 구를 지나고, 척수근 굴근의 양 두 사이를 지나 전완부로 들어온다. 전완부의 $\frac{1}{3}$ 에서 척골 동맥을 만나 그 내측으로 진행하는데, 주행 중 수근 굴근에 덮여 있다. 요골 신경은, 상완 요근과 상완근 사이를 주행하다가, 외상과 위에서 표재 분지와 심부 분지로 나뉜다. 표재 분지는 상완 요근에 덮여 전완의 원위부로 내려가 전완의 상 $\frac{1}{3}$ 지점에서 요골 동맥을 만나 그 외측에서 진행한다. 요골 경상 돌기로부터 약 5 cm 근위부에서 피하를 통하여 후방으로 돌면서 2-3개로 분지되며, 제 1,2,3 수지와 4지의 외측 반의 감각 중 근위 지절 근위부위를 관장한다. 요골 신경의 심부 분지는 후 골간신경 (posterior interosseous nerve)으로, 요골의 경부를 외측으로 선회하여, 회외근을 관통하고, 전완부의 후방에 이르러, 여러 개의 가지로 나뉘면서 손의 신전근을 지배한다.

주관절의 생역학

1. 운동 범위 및 회전축

주관절은 굴곡과 신전 그리고 회내전과 회외전 운동이 있어 손의 위치를 잡아주는데, 굴곡과 신전은 척상완 관절과 요상완 관절에서, 회내와 회외는 요척 관절에서 일어난다. 주관절의 정상 굴곡-신전 운동범위는 0° 에서 145° 정도이며 75° 회내 부터 85° 회외다(Fig. 5. A, B). 굴곡 운동시 $3^{\circ} \sim 4^{\circ}$ 정도의 외반-내반 이완은 발생할 수 있다. 일상생활에 필요한 운동 범위는 30° 에서 130° 과 50° 회내 및 50° 회외로 약 100° 의 굴신과 회전 운동 범위가 필요하다. 일상생활에서는 주관절의 굴곡이 더욱 중요한데, 일상생활의 기본 동작인 세면, 식사 등이 주관절의 굴곡과 관련이 많기 때문이다. 운동 자해가 있는 사람들은 30° 굴곡 구축까지는 기능상의 문제보다 외관상의 문제를 호소하지만 30° 이상의 굴곡 구축은 기능상의 장애를 유발한다.

척골-상완 관절은 경첩 운동을 하지만 단순히 경첩 운동이 일어나는 것이 아니라 굴곡축이 나선형 형태(helical motion)로 나타나게 되는데 이는 척골 근위부가 움직이는 상완 활차 홈의 경사에 의해 유발되는 현상이다(Fig 6). 굴곡 운동 초기와 신전 운동 후반 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 정도에는 운동 축이 변하며 gliding 운동이 rolling 운동으로 바뀐다. 주관절 굴곡-신전 운동의 회전축(locus of the center of the rotation)은 활차의 중심부에서 직경 2~3 mm 전방 부위로 알려져 있다. An 등의 연구에 의하면 회전축은 상완 상과면에 대하여 $3^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 내회전되어 있으며 관상면에서 회전축에 대한 수직선은 상완골의 장축에 대하여 $4^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 정도 외반되어 있다. 이러한 회전축을 주관절 치환술시 새로 만들어 주어야 삼입물 해리를 감소시킬 수 있다는 연구 결과도 있지만 회전 축 중심부의 편차가 적으므로 주관절을 굴곡 초기와 말기를 제외하면 하나의 동일한 축(uniaxial)관절로 간주하고 회전축은 활차 홈과 소두에 의해 형성되는 궁형 중심부를 통해 지나간다고 이해하여도 무방하다. 회전축의 외적 지표는 시상면에서 상완골 전방 피질골과 같은 선상에, 관상면에서 상완골 하단부의 후방 피질골로 파악할 수 있다. 그러므로 상완 소두의 중심부와 내상과의 전하방을 연결하는 선이 주관절의 회전축이 된다.

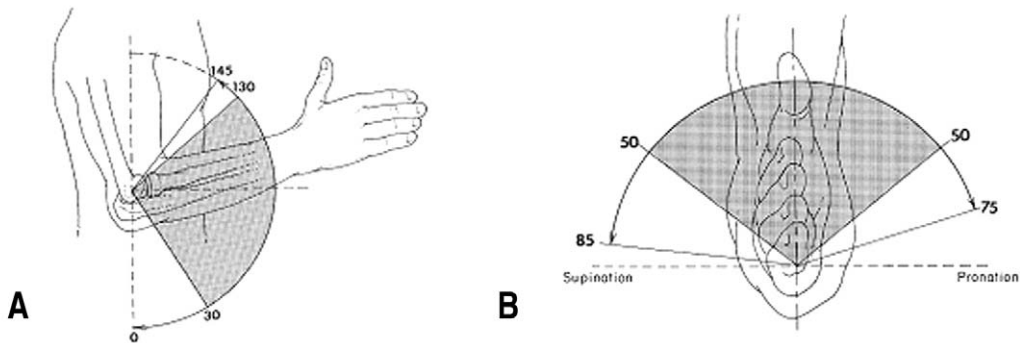


Fig. 5. (A) 굴곡-신전 운동 범위 (B) 회외-회내 운동 범위

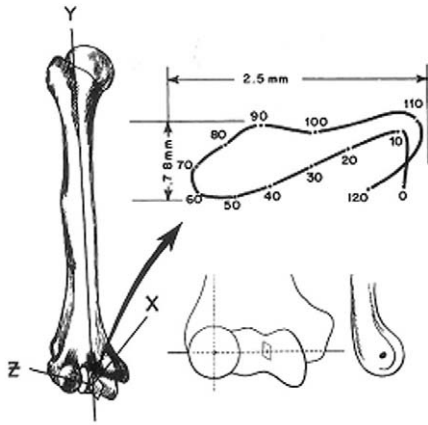


Fig. 6. 주관절 굴곡-신전 회전축

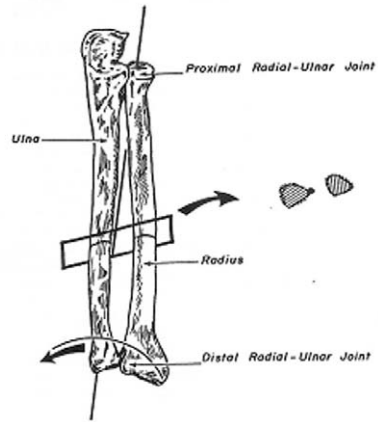


Fig. 7. 주관절 회내-회외 회전축

주관절 회외-회내전 회전 장축은 소두 및 요골두 중심부에서 척골의 관절 철면 (convex)을 연결하는 선으로 요골 및 척골 장축을 사선으로 가로지른다(Fig. 7). 이 회전축은 원위 전완 1/4 부위의 척골 골간막 부착부를 지나가므로 임상적으로 요골 및 척골 간부 골절에 의한 10% 이상의 각형성은 전완부 회전 운동의 장애를 초래한다. 전완부 회전 운동시 척골에서는 약간의 내반-외반 운동이 일어나는데 전완부의 회외 운동시 척골의 외회전이, 회내 운동시 척골의 내회전 또는 척골-상완 관절의 외측부가 닫히게 된다. 전완의 회내 운동시 요골의 상방 전이가 일어나며 요골두의 ovoid 형태로 인해 회내 운동시 요골두 축이 2 mm 외측으로 이동되며 요골 조면의 내측 회전을 가능하게 한다.

주관절의 신전 운동을 제한하는 요인으로 주두 돌기와 주두 와의 충돌과 전방 인대 (내측부 인대의 전방 속) 및 굴곡 근의 긴장 등이 있다. 굴곡 운동을 제한하는 요소로는 외과 소두와 요골두의 충돌, 구상 돌기와 구상 와의 충돌과 후방 관절낭 및 상완 삼두근의 긴장 등이 있다. 회내 및 회외의 장애는 신장된 길항근의 저항, 방형건의 긴장, 장부지 굴근의 충돌 등이 제한 요소이다. 주관절에 강직증이 발생되면 굴곡 운동은 보통 80°~90° 정도에서 고정되게 된다.

주관절 운동시 관절면의 접촉을 staining technique을 이용해 조사한 결과, 요골두에서 요골두의 중앙 함몰부가 상완골 소두의 천장과 접하고 내측 삼각 소관절면은 척골과 접하지만 요골두 상부 연은 타 부위와 접하지 않는다. 척골-상완 관절에서는 항상 활차 절흔과 접하게 되는데 활차 절흔의 구상돌기 관절면과 주두 관절면은 주관절이 점차적으로 굴곡시 관절 접촉면이 중앙으로 이동하게 되며 접촉면도 약간 증가하게 된다. 또한 관절에 가해지는 힘이 증가할수록 접촉면도 증가하게 된다. 즉 관절면에 10N의 힘이 가해졌을 때, 접촉면은 9%이지만, 1280 N의 힘이 가해지면 접촉면은 73%로 증가한다. 주관절 신전시 전완부에 내반 또는 외반의 힘이 가해지면 접촉면도 내외측으로 변화되어 마치 활차처럼 힘이 작용하게 된다.

2. 운반각 (Carrying angle)

운반각은 주관절 신전 상태에서 상완골의 종축과 척골의 종축을 연결하여 관상면에서 형성되어진 외반 각으로 정의되며 굴곡축과는 일치하지 않는다. 운반각은 남자에서 평균 10°~15° 정도이며 여자에서는 5° 정도 증가되어 있다. 운반각은 소아에서는 감소되어 있다가 나이가 들수록 증가하는 것으로 알려져 있다. 이

제 4차 대한건·주관절학회 연수강좌

운반각은 주관절을 완전히 굴곡하면 전완골이 상완골에 비해 약간 내측에 와 있어서 손이 입으로 향하게 된다. 운반각은 개인차가 있으므로 반드시 반대편 상지의 운반각과 같이 측정하여야 한다.

안정성 (Stability)

주관절은 우리 몸에 있는 관절 중 가장 congruous 관절 중 하나이며 안정된 구조를 가지고 있지만 주요 관절 중 두 번째로 탈구가 잘 되는 관절이다. 골관절 구조물과 인대들은 수동적 안정 구조물 (passive stabilizer)들이며 주관절 주위 근육들은 능동적 안정 구조물들이다. 주관절의 안정성은 주관절을 구성하는 연부 조직 및 골관절면이 거의 동일하게 안정도에 기여한다. 주관절 신전 상태에서 외반력에 대한 저항은 전방 관절낭이 40%, 내측 측부 인대가 30%, 관절이 30% 정도에서 관여하며 내반력에 대한 저항은 관절이 55%, 관절낭이 30%, 외측 측부 인대가 15%에서 관여한다. 주관절 90° 굴곡 상태에서 외반력에 대한 저항은 내측 측부 인대가 55%, 관절이 35%, 관절낭이 10% 정도에서 관여하고 내반력에 대한 저항은 관절이 75%, 외측 측부 인대가 10% 정도에서 관여한다.

1. 연부 조직

1) 내측 측부 인대

주관절에 작용하는 외반력에 대한 안정성은 내측 측부 인대의 전방 속 작용에 의하여 이루어진다. 신전 상태에서 120° 굴곡 상태로 변화시 전방 속의 길이는 18% 정도 증가하며 후방 속은 전방 속보다 회전축에 대해 더 후방에 위치하고 있어 39% 정도 길이 증가가 있다. 또한 내측 측부 인대는 상완 외상과의 전하면에서 기시하므로 척골 신경병증으로 인한 내상과 절제술시 외측 20% 이상은 제거하지 않도록 주의하여야 한다. Morrey와 An의 선택적 인대 절단 실험의 결과, 주관절 굴곡시 외반력에 대한 주 저항 구조물은 전방 속이며 후방 속은 보조 작용을 하고, 신전시는 내측 측부 인대와 관절면, 관절 낭이 외반력에 동시에 저항한다. 전방 속을 완전히 절단하였을 경우, 내회전 불안정성은 주관절 60° 굴곡시 최대이며 그 중 전방 대만 절단하였을 경우, 40° 굴곡에서 최대였다. 주관절 신전 장애는 주로 관절낭과 내측 측부 인대의 전방 속 구축에 의하여 발생하며 주두와 지방 체 (fat pad) 제거시 5°의 신전 증가를 얻는다 (Fig. 8).

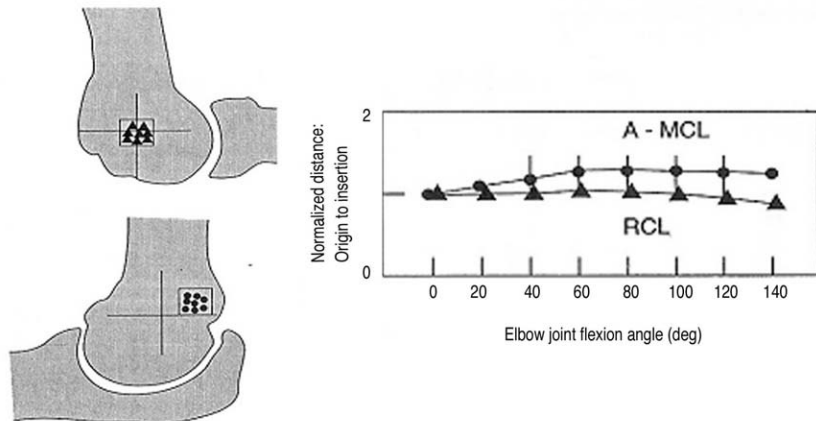


Fig 8. 주관절 굴곡에 따른 측부 인대의 길이 및 장력 변화

2) 외측 측부 인대

외측 측부 인대는 주관절 회전 축 선상에서 기시하므로 주관절 위치에 따른 길이 변화가 거의 없다. 외측 측부 인대 중 외측측 측부 인대는 내반 및 외회전력에 대한 길항의 주 역할을 담당하며 요측 측부 인대와 관절 낭이 보조 길항 역할을 하고 있다. 외측 측부 인대가 손상된 주관절은 굴곡이 증가하면서 회전 불안정성도 증가하여 110° 굴곡시 20°의 외회전 불안정성을 나타내었다. 외측 측부 인대 구조물을 형성하는 4개의 인대를 Y형태의 합쳐진 구조물로 간주하고 주관절의 세 관절을 동시에 안정성에 기여한다고 보고한 연구도 있다. 외측 측부 인대는 근위부에서 손상을 입은 경우 불안정성이 크게 나타나지만 원위부에서 절단된 경우 불안정성은 크게 발생하지 않는다.

3) 근육 및 전완부 위치

일반적으로는 몇 개의 근육 군만이 주관절 운동에 관련되지만 관절 반응력 (joint reaction forces) 차원에서 보면 주관절을 지나는 모두 근육들이 관절면의 상호 접촉으로 압박력을 줌으로서 관절에 안정성을 부여하고 있다. 즉 주변 인대군의 안정성에 보조 안정 구조물로서 역할을 한다. 주관절이 굴곡 위치에 있을 때는 압박력이 형성되어 그 합성 벡터(resultant vector)가 주관절 역동적 안정 요소로서 크게 역할하게 된다. 각각의 주관절 위치에 따라 서로 다른 근육 활동이 관여하게 된다. 주관절의 중요 굴곡근 군은 상완 이두근, 상완근, 상완요근으로서 상완 이두근은 상완근 보다 단층면적은 작지만 모멘트 팔 (moment arm)는 오히려 더 크다. 한편 상완근은 척골 근위부의 전방에 부착하면서 주관절의 전방 지지대 역할을 하면서 아울러 후방 아탈구에 대한 억제 역할도 하고 있다. 상완요근은 외측 과상능선 (supracondylar ridge)에서 기시하며 단층면적은 비교적 작지만 중요한 역할을 하고 있다. 주관절 굴곡이 증가할수록 요수근 굴근과 내측 측부 인대 전방을 덮어 주관절 외반력에 대항하는 이차적인 구조물로 생각된다. 주관절 신전 운동은 상완 삼두근에 의해 주로 수행되며, 주관절 운동 중심축과 매우 근접해 있어서 기계적 모멘트 팔은 크지 않다. 주근은 그 구조가 비록 작지만 외측 과상부에서 기시하여 윤상 인대와 요골두를 덮어주고 그리고 척골 근위부에서 넓게 부착되는 것으로 보아 내반 및 후외방 회전 불안정에 대한 역동적 억제 역할을 하는 것으로 보인다.

전완부의 회내 위치는 요골의 근위 전이를 유발하여 요골-소두 관절을 압박하여 외반 불안정성을 감소시킨다. 회외 위치도 이차적으로 내측 근육들을 긴장시켜 외반 불안정성이 감소시킨다. 전완부의 중립 위치는 외반 불안정성을 증가시키지만 전방 사경 인대의 손상이 있는 주관절은 전완부의 위치와 상관없이 외반 불안정성을 나타내었다. 외측 측부 인대 구조물이 손상되었을 경우, 전완부 회내 위치가 약간 안정성을 준다.

4) 골관절 구조물

요골두는 내측부 인대가 정상적으로 기능할 때는 외반력에 대한 저항 구조물로서 요골두의 기능은 30% 이하로 적어 단지 이차적 안정화 구조물로 인식되나, 내측부 인대가 파열되었을 때는 요골두가 외반력에 저항하는 중요한 구조물로 작용하게 된다(Fig. 9).

주관절 안정성에 대한 척골 근위부의 역할은 신전 및 굴곡 상태에서 외반력이 가해졌을 때 활차 절흔의 근위 1/2에 의해 75~80% 정도의 저항력을 나타내며, 내반력이 가해졌을 때 원위 1/2에 의해 60~67%의 저항력을 보인다(Fig. 10). 척골 주두부 소실 정도와 주관절 안정성은 굴곡이나 신전과 관계없이 비례 형태를 나타내는데 25%의 근위 주두부 소실은 25% 안정성 소실을 나타내며 50% 정도의 척골 주두부 소실시 약 50% 정도 안정성의 소실을 초래한다. 그러나 50% 주두부 소실에도 주관절 안정성에 영향을 미치지 않을 수 있다는 실험 결과는 노령층에서 심한 주두 분쇄 골절 치료도 보존적 치료도 고려할 수 있는 배경이 된다. 주관절에서 기시하는 굴곡근 및 신전근은 후방으로 향하고 있으므로 전완부는 항상 후방으로 탈구되려는 경향이 있다. 그러므로 구상와는 척골-상완 관절에서 전방 골성 저항 구조물로서 중요한 역할을 한다. 주관절이 신전 위치

에서 안정성을 가지려면 최소 50% 이상의 구상와가 존재하여야 한다.

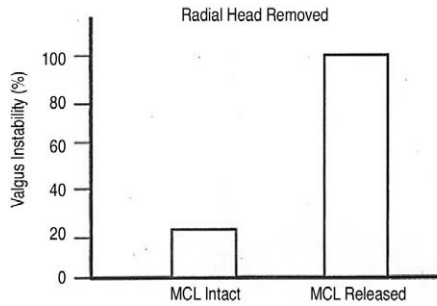


Fig. 9. 요골두의 안정성 기여도

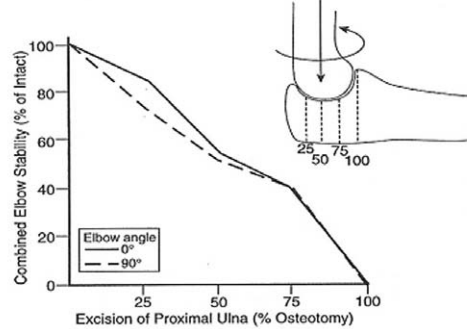


Fig. 10. 척골의 절단 부위에 따른 안정성 변화

전완부의 안정성은 골간막과 삼각 섬유 연골 복합체 (triangular fibrocartilagenous complex, TFCC)에 의해 유지된다. 요골두 제거시 요골의 근위 전위는 0.4 mm 정도이지만 골간막 손상과 동반되었을시 요골의 근위 전위는 4.4 mm이며, 삼각 섬유 연골 복합체 파열시는 2.2 mm로 조사되었다. 요골두 제거와 골간막 손상 및 삼각 섬유 연골 복합체 손상이 모두 동반되었을 경우, 요골두의 근위 전위는 16.8 mm이다.

힘의 전달 (Force Transmission)

신전된 주관절에 축성 압박을 가하면 힘의 60%는 요골-소두 관절을 통하여 40%는 척골-활차 관절을 통해 전달된다. 주관절 굴곡시에는 주관절을 통한 힘의 전달이 소두와 활차에 똑같이 분배가 되지만 신전시에는 40~50%이상의 힘이 더 활차를 통해 전달된다. 요골두를 통한 힘의 전달은 0°~30° 굴곡에서 가장 크며 회외보다 회내 동작에서 크다. 주관절에 작용하는 힘은 굴곡 초기에 가장 크며 굴곡이 증가할수록 굴곡 모멘트 팔이 길어지며 굴곡근의 힘이 커져 90° 굴곡에서는 관절에 작용하는 힘이 작아진다. 주관절의 내외반 상태나 굴곡-신전 상태에 따라 축성 부하의 차이도 크다. 주관절 외반 정렬시 척골의 근위부를 통한 압박력의 전달은 단지 12% 정도이나 내반 정렬시에는 93%로 증가한다. 일상생활 동안 주관절에 가해지는 압박력은 요골-상완 관절이나 척골-상완 관절을 통한 뿐 아니라 측부 인대에도 작용하여 힘의 분산이 이루어진다. 신전시에는 상완 하단 관절면의 후상방에 압박력이 전달되고 완전 신전 상태에서는 요상완 관절을 통한 부하가 증가하게 된다. 굴곡시에는 전완부의 내회전이 동시에 발생되므로 저항 염전력이 커져 관절면에 가해지는 압박력은 보다 증가하게 되어 내측부 인대에는 체중의 2배 정도, 요상완 관절에는 체중의 3배 정도의 힘이 작용하게 된다. 주관절에 가해지는 압박력은 손에 부하되는 압박력의 8배 정도이며 역도 선수와 같이 팔에 힘을 쓰는 운동시 척상완 관절에 가해지는 최대 힘은 체중의 1~3배 정도이며 단지 팔굽혀 펴기 운동만으로도 주관절에 평균 체중의 45% 정도의 힘이 전달된다. 주관절에 작용하는 힘은 옷을 입거나 밥을 먹는 등의 일반적인 동작시 약 300N, 의자에서 일어나는 도작 1700N, 책상을 당기는 힘은 체중의 3배 정도인 1900N이 작용한다.

상완-척골 관절 연골면에 가해지는 부하는 작용하는 힘의 크기, 방향 및 접촉점에 따라 결정된다. 압박력이

관절면의 중앙으로 향하면 관절면에 가해지는 부하는 주두 관절면을 따라 균등하게 분산되지만, 압박력이 관절면의 전방 또는 후방으로 치우치면 부하를 받는 관절면은 좁아지고 협소 부위에서 압박력이 증가되는 현상이 나타나게 된다.

REFERENCES

1. **Alcid JG, Ahmad CS, Lee TQ:** Elbow anatomy and structural biomechanics. *Clin Sports Med*, 23:503-517, 2004.
2. **An KN and Morrey BF:** Biomechanics of the elbow. Morrey BF 3rd ed. *The elbow and its disorders*. Philadelphia, WB Saunders. p43-60, 2000.
3. **Bernstein AD, Jazrawi LM, Rokito AS, Zuckerman JD:** Elbow joint biomechanics: Basic science and clinical applications. *Orthopedics*, 23:1293-1301, 2000.
4. **Callaway GH, Field LD, Deng XH, Torzilli PA, O'Brien SJ, Altchek DW et al:** Biomechanical evaluation of the medial collateral ligament of the elbow. *J Bone Joint Surg*, 79A:1223-1231, 1997.
5. **Closkey RF, Goode JR, Kirschenbaum D, Cody RP:** The role of coronoid process in elbow stability. A biomechanical analysis of axial loading. *J Bone Joint Surg*, 82A:1749-1753, 2000.
6. **Cohen MS, Hastings 2nd H:** Rotatory instability of the elbow. The anatomy and role of the lateral stabilizers. *J Bone Joint Surg*, 79A:225-233, 1997.
7. **Dunning CE, Zarzour ZD, Patterson SD, Johnson JA, King GJ:** Ligamentous stabilizers against posterolateral rotatory instability of the elbow. *J Bone Joint Surg*, 83A:1823-1828, 2001.
8. **Fuss FK:** The ulnar collateral ligament of the human elbow joint. anatomy, function and biomechanics. *J Anat*, 175:203-212, 1991.
9. **Jensen SL, Olsen BS, Seki A, Sojbjerg JO, Sneppen O:** Radiohumeral stability to forced translation an experimental analysis of the bony constraint. *J Shoulder Elbow Surg*. 11:158-165, 2002.
10. **Morrey BF:** Anatomy of the elbow joint. Morrey BF 3rd ed. *The elbow and its disorders*. Philadelphia, WB Saunders. p13-25, 2000.
11. **Morrey BF and An KN:** Stability of the elbow: Osseous constraints. *J Shoulder Elbow Surg*. 14:174S-178S, 2005.
12. **Safran MR, Baillargeon D:** Soft-tissue stabilizers of the elbow *J Shoulder Elbow Surg*. 14:179S-185S, 2005.
13. **Seki A, Olsen BS, Jensen SL, Eygendaal D, Sojbjerg JO:** Functional anatomy of the lateral collateral ligament complex of the elbow: Configuration of Y and its role. *J Shoulder Elbow Surg*. 11:53-59, 2002.
14. **Sojbjerg JO, Ovesen J, Nielsen S:** Experimental elbow instability after transection of the medial collateral ligament. *Clin Orthop*, 218:186-190, 1987.
15. **Zimmerman NB:** Clinical application of advances in elbow and forearm anatomy and biomechanics. *Hand Clin* 18:1-19, 2002.