

수근골의 생역학

신영호 · 이영호[✉]

서울대학교 의과대학 정형외과학교실

Biomechanics of the Wrist

Young Ho Shin, M.D., Young Ho Lee, M.D., Ph.D.[✉]

Department of Orthopedic Surgery, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

The wrist joint is a complicated structure composed of many bones and ligaments. Therefore, understanding the anatomy and the biomechanics of the wrist is important in order to administer proper treatment for patients. To easily understand the complicated structure, there were many trials to unite the complicated structure with a simple group such as the carpal row concept and the carpal column concept. Movement and load transfer along the wrist joint occurs with balanced action between carpal bones. To evaluate this static equilibrium, measuring tools such as carpal height ratio are used. When wrist flexion/extension occurs, each carpal row moves synchronously with action of the scaphoid. In contrast with flexion/extension, when wrist radial deviation/ulnar deviation occurs, the proximal carpal row moves in the sagittal plane, instead of the coronal plane. Recently, the dart throwing motion which occurred from the position of dorsiflexion with radial deviation to volar flexion with ulnar deviation is considered the main movement of the wrist joint.

Key Words: Wrist joint, Carpal bones, Anatomy, Biomechanics, Range of motion

서론

정형외과 영역에서 특정 부위의 해부학적 구조와 그 구조물들의 생역학을 이해하는 것은 해당 부위의 질환이나 외상을 이해하고 치료하는 데 있어서 매우 중요하다.^{1,2)} 특히 수근 관절은 원위 요골, 척골 및 8개의 수근골과 그들

을 연결하는 인대들로 이루어진 복잡한 구조로, 굴곡-신전, 요측-척측 사위, 회내-회외전의 세 축에서 움직임이 발생하는 자유도가 큰 관절이다.³⁾ 이러한 수근골과 수근관절의 생역학에 대해 많은 연구들이 진행되고 있지만 아직까지 정확히 밝혀지지 않은 부분도 많이 있다. 그래서 저자들은 수근골의 생역학에 대해 기존에 알려진 지식들을 고찰하고 최신 지견을 살펴보고자 하였다.

[✉]Address reprint requests to: Young Ho Lee, M.D., Ph.D.
Department of Orthopedic Surgery, Seoul National University Hospital,
101 Daehakro, Jongno-gu, Seoul 03080, Korea
Tel: 82-2-2072-0819 · Fax: 82-2-740-2718
E-mail: orthoyhl@snu.ac.kr

The several figures of this review article are taken from 3rd edition of Chung et al.'s Textbook of Fractures (Koonja Publishing Co., 2008) under copyright permission.

Financial support: None. **Conflict of interest:** None.

본론

1. 수근골의 기능적 해부학(functional anatomy)

손은 크게 보았을 때 두 개의 횡형 아치와 한 개의 종형 아치가 연결된 구조이다.⁴⁾ 아치 형태는 다른 어떤 형태들보다 강한 힘에 저항할 수 있는 공학적으로 안정적인 구

조로 알려져 있다. 두 개의 횡형 아치 중 원위 아치는 중수골의 골두들에 의해 형성되고 근위 아치는 수근골에 의해 형성된다. 종형 아치는 각 손가락 열의 뼈들에 의해 형성된다. 수근골은 종형 아치의 근위부와 근위 횡형 아치가 만나는 곳으로 수근골들이 두 아치가 여러 연부 조직에 의해 연결되고 안정적인 움직임을 가능하게 하는 데 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다.⁵⁾

여러 개의 뼈로 구성된 수근골들의 정상적 및 병적인 움직임을 이해하기 위해 움직임이 거의 없는 관절을 지닌 수근골들을 하나로 묶어 몇 개의 단위로 만들어 설명하고 있다. 주상골과 월상골 및 삼각골을 하나의 운동 단위로 보고, 대·소다각골과 유두골 및 유구골을 다른 하나의 운동 단위로 간주하여 두 개의 열(row) 개념으로 이해하고 있다.⁶⁾ 전자는 근위 수근열(proximal carpal row), 후자는 원위 수근열(distal carpal row)이라고 한다(Fig. 1). 수근골들을 이렇게 나눈다면, 요골 및 척골과 수근골 사이에서는 요골 및 척골 원위부와 근위 수근열, 원위 수근열의 세 개의 운동 단위를 설정할 수 있다. 이 운동 단위들 사이에는 요골 및 척골 원위부와 근위 수근 열 사이에 요수근 관절(radiocarpal joint), 그리고 근위 수근열과 원위 수근열 사이에는 중수근 관절(midcarpal joint)이 있다. 실제로 손목의 굴신 및 요척 운동의 대부분은 요수근 관절과 중수근 관절의 움직임에 의해 결정된다. 수근골들을 세로로 묶어서 세 개의 칼럼(column)으로 생각하는 것을 칼럼 개념이

라고 한다.⁶⁾ 여기에는 주상골과 소다각골 및 대다각골로 구성된 외측 칼럼(lateral column), 월상골과 유두골로 구성된 중앙 칼럼(central column), 그리고 삼각골과 유구골로 구성된 내측 칼럼(medial column)이 있다(Fig. 2). 이 개념은 골간 인대 파열과 같은 병리를 이해하는 데 도움을 줄 수 있다.

2. 손목 관절의 정역학(statics)

원위 수근열에서 근위 수근열로 전달되는 축성 부하(axial compression) 및 근위 수근열에서 수근부를 통해 전완부로 전달되는 축성 부하는 각 관절에 따라 차이가 있다. 중수근 관절로 전달된 축성 부하는 주상대다각소다각관절로 약 23%, 주상유두 관절로 약 28%, 월상 유두 관절로 약 29%, 삼각 유두 관절로 약 20%가 전달되고 이들 중 약 80%는 요골로, 20%는 척골로 전달된다.⁷⁾ 원위 요골에서는 약 6:4의 비율로 주상골 와(scaphoid fossa)와 월상골 와(lunate fossa)로 분배된다. 수근 관절을 구성하는 뼈와 인대들의 형태 및 기능에 변화가 발생하면 이러한 축성 부하의 분포가 달라지게 된다. 예를 들어, 주상골 골절 후 불안정성 불유합이 발생하게 되면 주상골을 통한 정상적인 부하 전달에 문제가 발생하여 주변 관절에 퇴행성 변화를 초래, 주상골 불유합 진행성 붕괴(scaphoid nonunion advanced collapse)로 이어진다(Fig. 3). 다른 예로, 외상에 의한 주상월상 골간 인대(scapholunate interosseous liga-

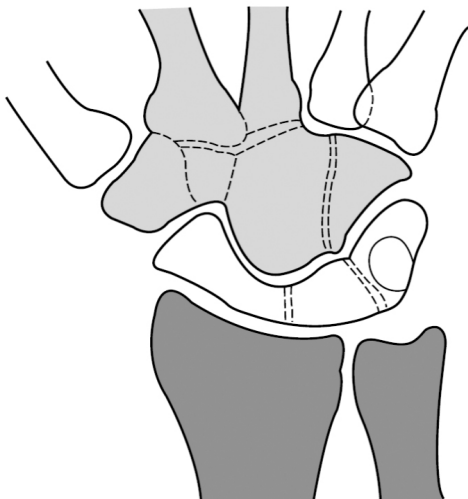


Fig. 1. Row concept of carpal bones. The joints with adjacent bones which do not have gross motion, considered as a single motor unit. The proximal row is composed of scaphoid, lunate, and triquetrum. The distal row is composed of trapezium, trapezoid, capitate, and hamate.

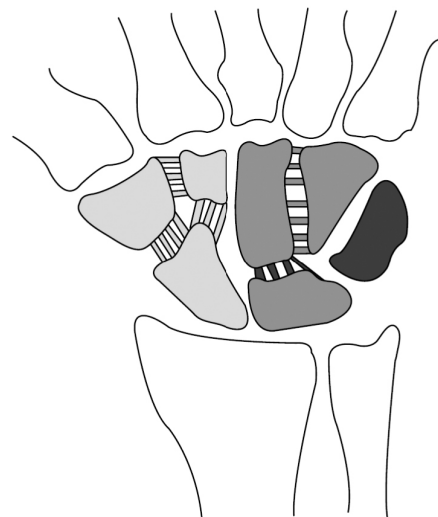


Fig. 2. Column concept of carpal bones. The lateral column is composed of scaphoid, trapezium, and trapezoid. The middle column is composed of lunate and capitate, and the medial column is composed of triquetrum and hamate.

ment)의 완전 손상은 근위 주상골의 후요측 아탈구를 초래하여 요주상 관절에 부하되는 축성 부하가 후요측 관절면에 집중되어 관절염이 발생하게 된다.⁸⁾

수근골의 높이는 요측-척측 사위 운동 시에 항상 일정한



Fig. 3. Scaphoid nonunion advanced collapse. Left wrist simple radiograph of a 53-year-old man. The advanced degenerative changes are evident around the radiocarpal joint with scaphoid nonunion.

높이를 유지하는데, 이를 수근 높이 비(carpal height ratio)의 원리라고 한다. Youm과 Flatt⁹⁾는 후전면 단순 방사선 영상에서 수근골의 높이를 제3중수골 기저부로부터 원위 요골의 연골하 골까지의 길이로 하였고 이를 제3중수골의 길이로 나눈 값이 0.54 ± 0.03 으로 일정함을 밝혔다(Fig. 4). 최근에 성별에 따른 정상 수근 높이 비의 차이에 대해서도 보고된 바가 있다.¹⁰⁾ 이 높이의 변화가 질환의 진행 및 회복 척도로 사용되고 있다. 키엔백 병에서 월상골의 와해와 유두골의 근위 전위 발생 시에 수근 높이 비가 감소하는 소견을 수근 높이 비로 측정하여 질환의 진행 정도를 평가하는 도구로 이용하고 있다.¹¹⁾ 또한 Bouman 등¹²⁾은 수근골의 높이를 유두골의 길이로 나눈 비가 1.57 ± 0.05 로 Fibonacci 비율과 매우 가까움을 밝혔다.

3. 손목 관절의 운동학(kinematics)

1) 전완부의 축 회전 운동

요골과 척골의 원위부를 고정한 상태에서 손목을 움직여 보면, 축 회전 운동은 발생하지 않으며 단지 굴신 및 요척 사위 운동만이 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 따라서 축 회전은 요척 관절의 움직임에 의해 발생하는 것이라고 할 수 있다. 요척 관절은 근위 요척 관절과 윤상 인대, 골간 인대 및 원위 요척 관절과 원위 요척 인대들이 함께 작동

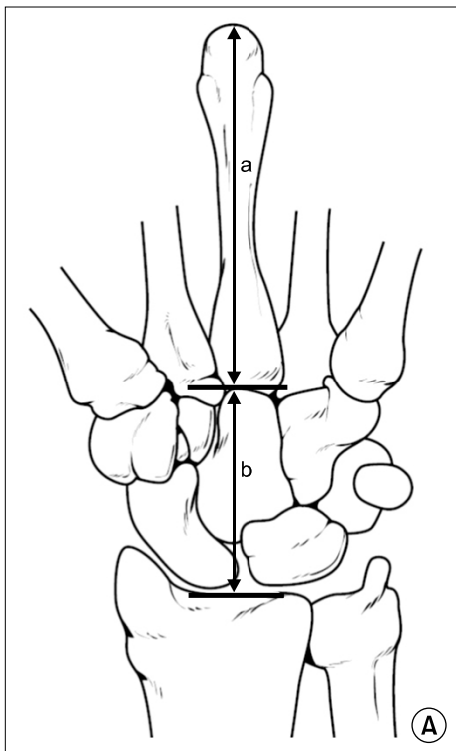


Fig. 4. Carpal height ratio. (A) Carpal height ratio is calculated by dividing carpal height (b) with length of the 3rd metacarpal bone (a). (B) A simple radiograph of measurement of carpal height ratio.

하여 움직임과 부하 전달이 이루어진다.¹³⁾ 주관절의 요골 두와 원위 요척 관절의 척골 두를 연결하는 선을 회전축으로 하여 원위 요골의 S자 절흔이 요골 두에서부터 전달된 힘에 의해 고정되어 있는 척골 두 위를 돌아 약 180도 회전하게 되는 것이다. 이 때 척골 두는 회내 시 후방 전위 되고 회외 시 전방 전위가 일어나 원위 요척 관절에 부하가 가해지는 부위가 회전 움직임에 따라 달라지게 된다.¹⁴⁾ 이러한 회전 운동이 가능하게 하기 위해 해부학적으로 요골 두는 약간 찌그러진 원기둥 형태를 하고 있고, 회전 도중 요골과 척골 사이의 부딪침을 막기 위해 요골과 척골 사이는 충분한 간격으로 떨어져 있으면서 요골은 외측으로 볼록하게 휘어 있는 것이다. 요골과 척골을 연결하고 있는 골간 인대 및 막은 전완부 회전 시 경첩 역할을 하면서 요골 및 척골이 과도하게 멀어지거나 회전하는 것을 막아주는 역할을 한다.¹⁵⁾ 최근 사체를 이용한 연구에 따르면 축 회전 운동 시 골간 인대 및 막에 가해지는 긴장도가 다양해서 회내 시에 가장 유연하고, 회내-회외 중간 정도에서 가장 긴장도가 높으며, 회외 시에 원위 골간 인대 긴장도가 가장 높다고 보고된 바 있다.¹³⁾

2) 수근 관절의 굴신 및 요척 사위 운동

지금까지 수근 관절 운동의 중심축은 유두골 두부에 있다고 받아들여지고 있지만, 최근 연구들에 따르면 수근 관절 움직임은 단일 평면에서 일어나는 것이 아니어서 운동의 축이 각 동작에 따라 즉각적으로 달라진다고 알려져 있다.^{16,17)} 수근 관절의 움직임을 제공하는 외재 근육은 총 5개로 장요수근신근, 단요수근신근, 척수근신근, 요수근굴근, 장수장근이 있다. 이 중 척수근굴근을 제외한 다른 근육들은 모두 수근골이 아닌 중수골의 기저부에 부착한다. 따라서 수근 관절의 움직임은 건의 부착 부위에서 가까운 원위 수근열에서 먼저 일어나고 근위 수근열은 능동적으로 움직일 수 있는 근육이 없으므로 원위 수근열과 원위 요골에 끼어서 그들의 움직임에 따라 수동적으로 움직이게 되어 이를 개재 분절(intercalated segment)이라고 부르기도 한다.¹⁸⁾

수근 관절의 굴신 운동 시 각 수근열의 운동은 요수근 관절과 중수근 관절에서 동시성(synchronous)으로 발생하여 굴곡 시에 두 열 모두에서 굴곡이 일어나고, 신전 시에 두 열 모두에서 신전이 일어난다. 이러한 조화로운 운동이 가능하려면 원위 수근열의 동력을 근위 수근열에 전달하는 동력 전달 장치가 있어야 하는데, 주상골이 그러한 역할을 한다. 주상골은 근위 수근열에 속하지만 해부학적으로 원위 1/3 정도가 원위 수근열 속에 들어가 있는 모양을 하고 있어 이러한 연결봉(link) 역할을 하는 것으로 생각된다. 이러한 주상골이 굴신 운동시에 근위 수근열 중에서 가장

많은 움직임을 보여서 주상월상 골간 운동은 월상삼각 골간 운동의 약 두, 세 배에 달한다. 수근 관절의 굴곡 시에 근위 수근열은 굴곡 및 척측 사위를 하고, 신전 시에 근위 수근열은 신전 및 요측 사위를 한다.¹⁹⁾

굴신 운동 시와는 달리 수근 관절의 요척 운동 시, 각 수근열의 운동은 동시성으로 발생하지 않는다. 손목의 요척 변위 시에 원위 수근열의 대다각골은 요골에 가까워지고 제5중수골 기저부는 척골 경상 돌기에서 멀어진다. 대다각골은 해부학적으로 주상골의 원위 후방에 존재하여 요척 변위 시 요골에 가까워지면서 주상골을 후방에서 압박하여 주상골을 약 45도 더 전방으로 굴곡하게 한다. 따라서 요척 변위와 함께 근위 수근열은 전방으로 굴곡하게 되고, 이를 보상하기 위해 원위 수근열은 약 45도 후방으로 굴곡하게 된다. 손목의 척측 변위 시 대다각골은 요골 원위부에서 멀어지고 제5중수골의 기저부와 척골 경상 돌기 사이의 간격이 좁아지면서 원위 수근 열과 제3중수골은 척측으로 기울어져 약 40도 척측으로 회전된다. 척측 변위 시 대다각골과 요골 원위부 사이가 넓어져 있으므로 주상골은 그 장축이 길어지는 방향으로 움직이지 않으면 안되게 되고, 그리하여 중립 위치에서 약 45도 정도 앞으로 회전되어 있던 주상골의 장축은 더 길어지는 방향인 후방으로 45도 정도 회전되게 된다. 그 결과 근위 수근열이 요골 원위부에 대해서 약 45도 후방 굴곡되고, 근위 수근열의 후방 회전을 보상하기 위해서 원위 수근열은 전방으로 45도 굴곡된다(Fig. 5). 이를 종합하면 수근 관절이 전체적으로 관상면에서 움직일 때, 근위 수근열은 시상면에서 움직인다. 이처럼 근위 수근열의 수근골이 손목 전체의 움직임과 다른 평면에서 움직이는 것을 근위 수근열의 평면 외 운동(out of plane motion)이라고 한다. 이는 근위 수근열이 개재 분절이기 때문에 원위 요골과 원위 수근열 사이에서 수동적으로 움직이게 되어 이차적으로 발생하는 현상이다.¹⁹⁾

수근 관절의 움직임에 미치는 각 골간 인대들의 역할에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다. 과거 수근 관절의 움직임과 관련된 수근 관절 후방 인대의 역할에 대한 이해가 부족하였다.²⁰⁾ 최근 연구에 따르면 후방 요수근 인대와 후방 수근골간 인대가 요측으로 넓은 'V' 모양을 형성하여,²¹⁾ 수근 관절 운동 내내 근위 수근열을 안정화시키는 역할을 한다고 알려졌다.²²⁾ 수근골의 골간 인대 중 가장 중요한 인대인 주상월상 골간 인대에 대해서도 새로운 지식들이 알려지고 과거에는 주상월상 골간 인대를 하나의 인대로만 간주하고 치료하였지만, 최근 서로 다른 3개의 구역(전방/근위/후방)의 기계적 특성을 고려하여 이해하려는 방향으로 바뀌고 있다.²³⁾ 후방 주상월상 골간 인대가 주상골의 정적 및 동적 안정화에 있어서 가장 중요한 역할을 하는 것으로

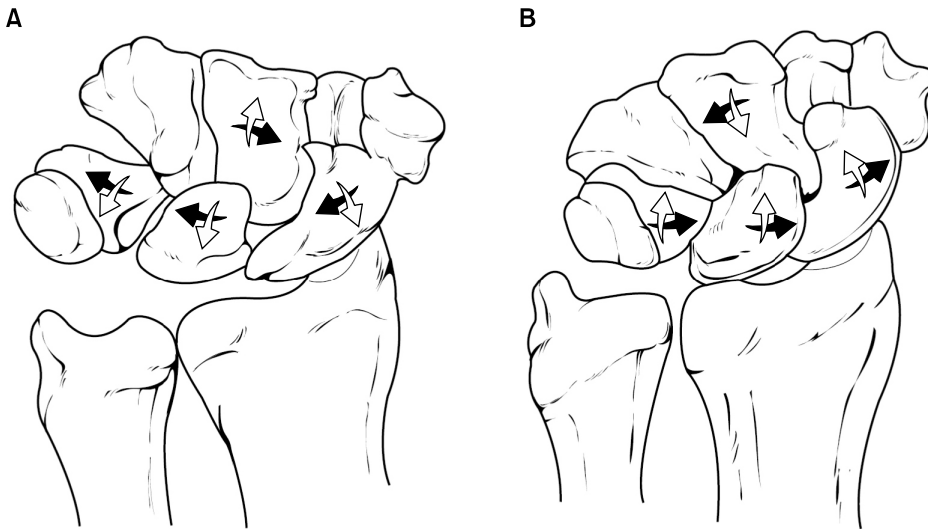


Fig. 5. Movement of carpal rows during radial deviation and ulnar deviation. **(A)** During radial deviation of the wrist joint, the proximal carpal row is flexed volarly and deviated radially, and the distal carpal row is flexed dorsally. **(B)** During ulnar deviation of the wrist joint, the proximal carpal row is flexed dorsally and deviated ulnarly, and the distal carpal row is flexed volarly.

보고되고 있다.^{24,25)} 또한 수근 관절 골간 인대의 기계적인 안정화 역할뿐 아니라 고유 감각 수용체(proprioception)를 지닌 감각 기관으로 외부 자극을 수용하고 근육, 뼈, 관절 등 다른 조직들과 네트워크를 형성하여 관절 안정화에 기여하는 역할에 대해서도 새로이 밝혀지고 있다.²⁶⁾

수근 관절의 해부학적 구조의 변형 및 그로 인한 이차적인 변화의 원인을 생역학적으로 접근하려는 노력이 많이 시행되고 있다. 사체 연구를 통해 원위 요골 골절 후 부정 유합으로 인한 관절 높이의 감소가 생역학적으로 관절 접촉면에서의 부하 전달 체계와 관절 운동 범위에 미치는 악영향이 보고된 바 있고,¹⁾ 주상골 불안정성 골절 시 주상골의 부하 전달 연결봉으로서의 문제뿐만 아니라 수근 관절 전체의 운동 축이 변화하여 수근골의 굴곡진 및 신전건의 근육 능률과 이동 거리 등 생역학에 변화가 발생, 주변 관절의 퇴행성 변화가 더 가속화된다고 알려졌다.²⁷⁾

3) 화살촉 던지기 동작(dart throwing motion, DTM)

글쓰기, 타자 치기, 물건 잡기, 물건 들어올리기 등과 같은 일상 생활에서 주된 손목의 자세는 요측 변위와 후방 굴곡이 같이 이루어진 형태이다.⁵⁾ 많이 사용되는 손목의 동작 또한 해부학적 위치인 시상면, 관상면, 축면에서의 움직임이 아닌 DTM이라고 하는 척측 사위 및 전방 굴곡 위치에서 요측 사위 및 후방 굴곡 위치로의 움직임이다.²⁸⁾ DTM의 축은 시상면에서 평균 약 30-45도 기울어져 있으나 많은 연구자들은 그 움직임이나 축이 고정된 것이 아니고, 다양한 굴신 및 요척 사위 운동의 조합으로 이루어진 몇몇 경로를 따라서 발생한다고 하는 데 동의하고 있다.³⁾ 이 동작에는 요수근 관절이나 주상골 및 월상골의 움직임보다 중수근 관절의 움직임이 더 크게 기여하는 것으로 알려져

있고,^{29,30)} 이는 수술적 치료로 선택적 수근골 유합술을 고려할 경우 중수근 관절보다 요수근 관절을 선택하는 것이 환자가 수술 후 일상 생활을 수행하는 데 있어서 기능적으로 더 우수하다는 근거가 되고 있다.³⁾ 순수한 움직임이 아닌 망치질과 같은 큰 힘을 가하는 동작을 할 경우 주상골이나 월상골의 움직임과 같은 요수근 관절의 움직임이 기여하는 바가 상대적으로 커져서,³¹⁾ 이를 순수한 DTM (pure DTM)과 구분하여 기능적 DTM (functional DTM)으로 분류하고 이에 대한 많은 연구들이 진행 중에 있다.³⁾ DTM을 일으키는 주요 운동원은 척수근굴곡근과 장요수근 신전근으로,³²⁾ DTM 시에 손으로 잡은 도구가 팔과 나란히 위치하도록 할 수 있으므로, 순수한 굴신 운동 및 요척 사위 동작보다 더 효과적으로 팔 전체의 지렛대를 증가시켜 더 큰 힘을 효율적으로 줄 수 있다.⁵⁾

최근 이 DTM을 동작 분석 기술을 이용하여 3차원적으로 분석하려는 노력들이 진행되고 있다. Brigstocke 등³³⁾은 망치질, 공 던지기, 단추 풀기, 병뚜껑 따기 등의 일상 동작을 동작 포착 시스템으로 분석하여 그 움직임의 시상면 기울기가 화살촉 던지기 동작의 그것과 크게 다르지 않음을 밝혔고, Lee 등³⁰⁾은 원위 요골 골절 후 불유합이 된 손목과 정상 반대쪽 손목의 DTM을 컴퓨터 단층 촬영을 이용하여 비교하여 원위 요골 골절 불유합에서 관절 운동 범위의 감소가 요수근 관절에 의한 것이 아닌 중수근 관절의 운동 범위 감소에 기인한 것이라고 밝힌 바 있다(Fig. 6).

결 론

손목의 외상 및 질환을 이해하고 치료 방침을 결정하는데 있어서 수근부의 해부학적 구조와 생역학을 이해하는

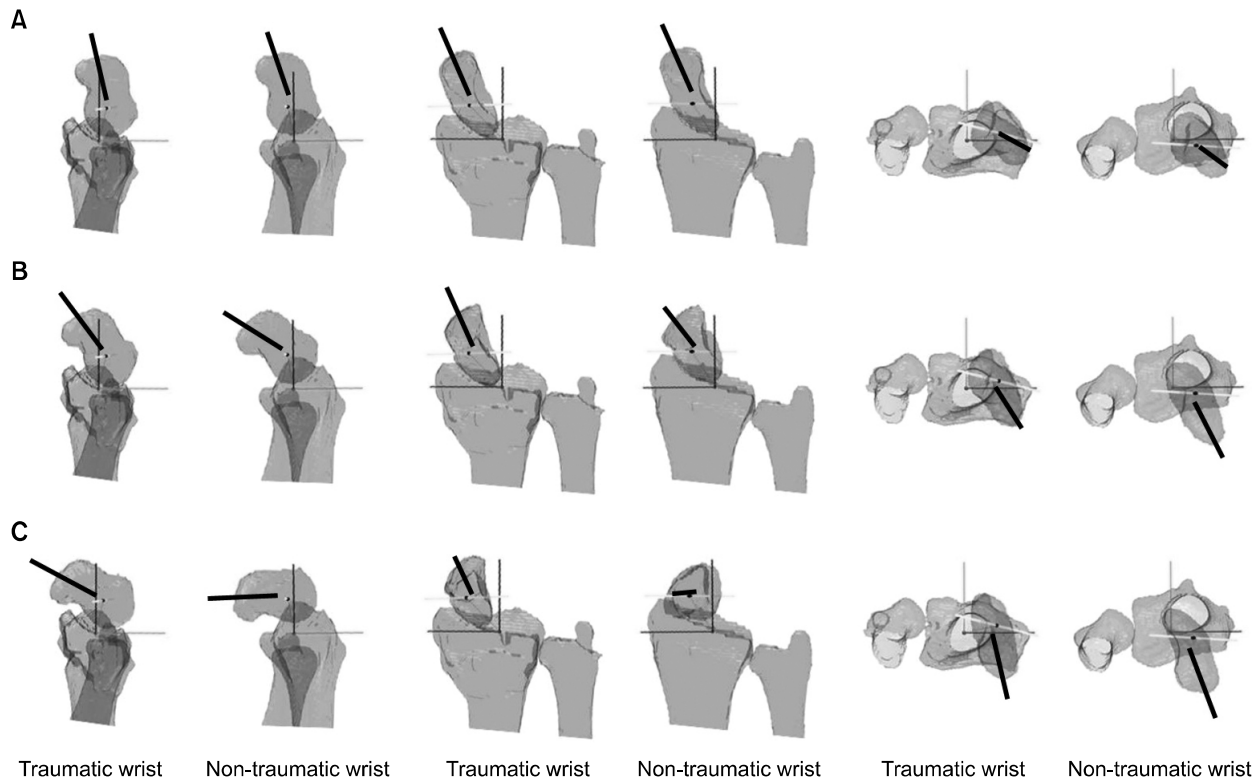


Fig. 6. Computed tomography based three dimensional kinematic comparison of the scaphoid during dart throwing motion between distal radius fracture malunion and contralateral normal side. **(A)** Radial deviation and dorsal tilt position. **(B)** Mid-range of dart throwing motion. **(C)** Ulnar deviation and volar tilt position. The orientations of the helical axes (bold line of each figure) of the scaphoid are different between two sides.

것은 매우 중요하다. 수근 관절은 여러 개의 뼈와 인대가 유기적으로 움직임과 부하 전달을 하고 있어, 손상이나 질환에 의한 한 해부학적 구조의 이상은 주변 구조물의 생역학에 변화를 주어 2차적인 해부학적 구조의 변화를 유발할 수 있다. 과거 수근 관절의 움직임을 단순한 축 회전 운동, 굴신 운동 및 요척 사위 운동 등 2차원적으로 분석하는 데서 발전하여 동작 분석, 컴퓨터 단순 촬영 등을 이용하여 3차원적으로 분석하는 연구들이 진행되고 있다. 또한 실제 손 사용 행태를 잘 반영하는 DTM을 이해하는 것은 환자의 치료 방침이나 수술 기법을 결정하는 데 매우 중요하다.

References

- 1) Erhart S, Schmoelz W, Arora R, Lutz M: The biomechanical effects of a deepened articular cavity during dynamic motion of the wrist joint. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, **27**: 557-561, 2012.
- 2) Berdia S, Wolfe SW: Effects of scaphoid fractures on the biomechanics of the wrist. *Hand Clin*, **17**: 533-540, vii-viii, 2001.
- 3) Moritomo H, Apergis EP, Garcia-Elias M, Werner FW, Wolfe SW: International Federation of Societies for Surgery of the Hand 2013 Committee's report on wrist dart-throwing motion. *J Hand Surg Am*, **39**: 1433-1439, 2014.
- 4) Evarts CM: *Surgery of the musculoskeletal system*. New York, Churchill Livingstone; 1983.
- 5) Tang JB: General concepts of wrist biomechanics and a view from other species. *J Hand Surg Eur Vol*, **33**: 519-525, 2008.
- 6) Taleisnik J: Classification of carpal instability. *Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst*, **44**: 511-531, 1984.
- 7) Palmer AK, Werner FW: Biomechanics of the distal radioulnar joint. *Clin Orthop Relat Res*, **(187)**: 26-35, 1984.
- 8) Strauch RJ: Scapholunate advanced collapse and scaphoid nonunion advanced collapse arthritis: update on evaluation and treatment. *J Hand Surg Am*, **36**: 729-735, 2011.

- 9) **Youm Y, Flatt AE:** Kinematics of the wrist. *Clin Orthop Relat Res*, **(149)**: 21-32, 1980.
- 10) **Wang YC, Tseng YC, Chang HY, Wang YJ, Chen CJ, Wu DY:** Gender differences in carpal height ratio in a taiwanese population. *J Hand Surg Am*, **35**: 252-255, 2010.
- 11) **Schuind F, Eslami S, Ledoux P:** Kienbock's disease. *J Bone Joint Surg Br*, **90**: 133-139, 2008.
- 12) **Bouman HW, Messer E, Sennwald G:** Measurement of ulnar translation and carpal height. *J Hand Surg Br*, **19**: 325-329, 1994.
- 13) **Malone PS, Cooley J, Morris J, Terenghi G, Lees VC:** The biomechanical and functional relationships of the proximal radioulnar joint, distal radioulnar joint, and interosseous ligament. *J Hand Surg Eur Vol*, **40**: 485-493, 2015.
- 14) **Ishii S, Palmer AK, Werner FW, Short WH, Fortino MD:** Pressure distribution in the distal radioulnar joint. *J Hand Surg Am*, **23**: 909-913, 1998.
- 15) **Hotchkiss RN, An KN, Sowa DT, Basta S, Weiland AJ:** An anatomic and mechanical study of the interosseous membrane of the forearm: pathomechanics of proximal migration of the radius. *J Hand Surg Am*, **14**: 256-261, 1989.
- 16) **Moojen TM, Snel JG, Ritt MJ, Venema HW, Kauer JM, Bos KE:** In vivo analysis of carpal kinematics and comparative review of the literature. *J Hand Surg Am*, **28**: 81-87, 2003.
- 17) **Wolfe SW, Neu C, Crisco JJ:** In vivo scaphoid, lunate, and capitate kinematics in flexion and in extension. *J Hand Surg Am*, **25**: 860-869, 2000.
- 18) **Landsmeer JM:** Studies in the anatomy of articulation. II. Patterns of movement of bi-muscular, bi-articular systems. *Acta Morphol Neerl Scand*, **3**: 304-321, 1961.
- 19) **Chung MS, Seong SC, Choi IH:** Textbook of fractures. 3rd ed. Seoul, Koonja publishing Co; 285-307, 2008.
- 20) **Nanno M, Buford WL Jr, Patterson RM, Andersen CR, Viegas SF:** Three-dimensional analysis of the ligamentous attachments of the first carpometacarpal joint. *J Hand Surg Am*, **31**: 1160-1170, 2006.
- 21) **Viegas SF, Yamaguchi S, Boyd NL, Patterson RM:** The dorsal ligaments of the wrist: anatomy, mechanical properties, and function. *J Hand Surg Am*, **24**: 456-468, 1999.
- 22) **Kijima Y, Viegas SF:** Wrist anatomy and biomechanics. *J Hand Surg Am*, **34**: 1555-1563, 2009.
- 23) **Rajan PV, Day CS:** Scapholunate Interosseous Ligament Anatomy and Biomechanics. *J Hand Surg Am*, **40**: 1692-1702, 2015.
- 24) **Berger RA, Imeada T, Berglund L, An KN:** Constraint and material properties of the subregions of the scapholunate interosseous ligament. *J Hand Surg Am*, **24**: 953-962, 1999.
- 25) **Patterson RM, Yazaki N, Andersen CR, Viegas SF:** Prediction of ligament length and carpal diastasis during wrist flexion-extension and after simulated scapholunate instability. *J Hand Surg Am*, **38**: 509-518, 2013.
- 26) **Salva-Coll G, Garcia-Elias M, Hagert E:** Scapholunate instability: proprioception and neuromuscular control. *J Wrist Surg*, **2**: 136-140, 2013.
- 27) **Tang JB, Ryu J, Han JS, Omokawa S, Kish V, Wearden S:** Biomechanical changes of the wrist flexor and extensor tendons following loss of scaphoid integrity. *J Orthop Res*, **15**: 69-75, 1997.
- 28) **Moritomo H, Murase T, Goto A, Oka K, Sugamoto K, Yoshikawa H:** Capitate-based kinematics of the midcarpal joint during wrist radioulnar deviation: an in vivo three-dimensional motion analysis. *J Hand Surg Am*, **29**: 668-675, 2004.
- 29) **Wolfe SW, Crisco JJ, Orr CM, Marzke MW:** The dart-throwing motion of the wrist: is it unique to humans? *J Hand Surg Am*, **31**: 1429-1437, 2006.
- 30) **Lee S, Kim YS, Park CS, et al:** CT-based three-dimensional kinematic comparison of dart-throwing motion between wrists with malunited distal radius and contralateral normal wrists. *Clin Radiol*, **69**: 462-467, 2014.
- 31) **Leventhal EL, Moore DC, Akelman E, Wolfe SW, Crisco JJ:** Carpal and forearm kinematics during a simulated hammering task. *J Hand Surg Am*, **35**: 1097-1104, 2010.
- 32) **Werner FW, Short WH, Palmer AK, Sutton LG:** Wrist tendon forces during various dynamic wrist motions. *J Hand Surg Am*, **35**: 628-632, 2010.
- 33) **Brigstocke GH, Hearnden A, Holt C, Whatling G:** In-vivo confirmation of the use of the dart thrower's motion during activities of daily living. *J Hand Surg Eur Vol*, **39**: 373-378, 2014.

수근골의 생역학

신영호 · 이영호[✉]

서울대학교 의과대학 정형외과학교실

수근 관절은 여러 개의 뼈와 그들을 연결하는 인대로 이루어진 복잡한 구조로 그 해부학과 해부학적 구조물들의 생역학을 이해하는 것이 환자에게 적절한 치료를 제공하는 데 있어 매우 중요하다. 이를 위해 수근열 개념, 수근골의 칼럼 개념 등을 도입하여 복잡한 구조를 단순화하여 이해하려고 노력하였다. 수근 관절을 통한 운동이나 부하 전달 등은 수근골들 사이에 균형 잡힌 분배를 통해서 이루어지고, 이러한 수근골들 사이의 정적 평형 상태를 평가하기 위한 도구로 수근 높이 비 등이 이용되고 있다. 수근 관절의 굴신 운동 시 각 수근열의 운동은 요수근 관절과 중수근 관절에서 동시성으로 발생하고, 주상골이 연결봉으로서 중요한 역할을 한다. 굴신 운동 시와는 달리 수근 관절의 요척 운동 시 각 수근열의 운동은 동시성으로 발생하지 않아 근위 수근열은 관상면이 아닌 시상면에서 움직임이 발생한다. 최근 주된 손목의 자세 및 동작이 시상면, 관상면, 축면 등에서의 움직임이 아닌 화살촉 던지기 동작이라고 하는 척측 사위 및 전방 굴곡 위치에서 요측 사위 및 후방 굴곡 위치로의 움직임인 것으로 밝혀져 이에 대한 많은 연구들이 진행 중이다.

색인 단어: 손목 관절, 수근골, 해부학, 생역학, 관절 운동 범위

[✉]교신저자 이영호

03080, 서울시 종로구 대학로 101, 서울대학교병원 정형외과

Tel 02-2072-0819, Fax 02-740-2718, E-mail orthoyhl@snu.ac.kr

본 종설의 일부 사진은 정문상 등의 골절학 3판(군자출판사, 2008)의 저작권 허가를 받아 사용되었음.