

Clinical Application of Three-Dimensional Reconstruction in Shoulder Surgeries

Sung-Hwan Kim, M.D., Seung-Joo Ha, M.D.

Arthroscopy & Joint Research Institute and Department of Orthopaedic Surgery, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

3-D medical image reconstruction technique using computer simulation technology has been used in the knowledge of the anatomical features and the biomechanical characteristics with the advancement of computer hardware and software. Especially, the use of 3-D image reconstruction technique in orthopaedics demonstrates that this technique is useful to improve surgical technique as well as to help inform the knowledge of shoulder joint anatomy. The purpose of this article is to introduce the utilization of 3-D image technology in shoulder surgeries.

Key Words Shoulder · Arthroplasty · 3-D image.

Received: December 5, 2014 / **Revised:** December 6, 2014 / **Accepted:** December 8, 2014

Address for correspondence: Sung-Hwan Kim, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Yonsei University College of Medicine, 50-1 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea

Tel: 82-2-2228-2184, **Fax:** 82-2-363-1139, **E-mail:** orthohwan@gmail.com

서 론

인체에 대한 3차원 영상 재건 모델은 컴퓨터 가상공간에서 인체를 구성하는 각 부분에 대하여 해부학적 구조 및 생체내의 역학적 특성에 대한 정보를 제공한다. 이러한 3차원 영상 재건 모델은 컴퓨터단층촬영 (Computed Tomography, CT), 자기공명영상장치 (Magnetic Resonance Imaging, MRI)와 같은 의료영상장비를 이용하여 인체의 각 부분에서의 기능적 영상까지 같이 구현하는 방향으로 발전하고 있다. 3차원 영상 재건 기술을 이용한 인체의 해부학적 구조 및 생역학적 기능에 대한 연구는 1980년대에 컴퓨터단층촬영을 이용한 3차원 영상 재건 기술이 보급되기 시작하면서 많은 발전을 이루었다. 최근에는 영상 처리 기술의 발전으로 다검출기컴퓨터단층촬영 (Multi-Detector Computed Tomography, MDCT)과 같은 의학 영상 장비 및 소프트웨어를 이용하여 더욱 세밀하고 신속하며 정확한 인체구조를 파악할 수 있게 되었다 (1). 3차원 영상 재건 방법으로는 다면 재구성 (Multiplanar Reformat, MPR), 표면 재구성 (Surface Rendering, SR), 최대 밝기 투사 (Maximum Intensity Projection, MIP) 등이 있다. 다면 재구성은 복잡한 해부학적 구조를 가진 객체를 분석하는데 사용되며, 특히 관절의 평가에 유용하

다. 표면 재구성은 물체의 경계면만을 선택하여 표시하는 방법으로 마치 실물을 보는 것 같은 느낌의 영상을 제공하며, 수술 전 평가 등에서 유용히 사용된다. 최대 밝기 투사는 마치 평면 엑스선 영상을 얻는 것과 유사한 영상을 삼차원으로 가능하게 하여 복잡한 골절의 평가를 좀더 용이하게 한다 (2). 2차원 영상은 3차원인 실체를 단면으로 나타낸 것이기 때문에 공간적인 정보의 부족으로 인하여 실제의 정보를 왜곡할 가능성이 높지만, 3차원 영상 재건 모델은 인체 내부 구조물의 방향감 및 위치감을 시각화하고 이를 임의로 회전 및 이동시켜 해부학적 구조에 대한 이해 및 질환에 대한 진단을 쉽게 할 수 있다는 장점이 있다. 또한 실제 인체를 대상으로 하는 연구가 불가능한 상황에서 상대적으로 적은 비용과 시간을 사용하여 인체의 해부학적 구조 및 생역학적 특성에 대하여 방대한 정보를 제공하며, 동일한 조건에서 다양한 상황을 연출하여 결과를 얻을 수 있다 (3). 현재까지 정형외과 영역에서의 3차원 영상 재건 기술은 대부분 고관절 전치환술, 슬관절 전치환술 및 절골술 등에서 이용되었다. ‘견관절’이라는 학문 자체는 슬관절이나 척추관절 등의 다른 근골격계 관절 영역에 비해서 신생학문이다. 따라서 견관절 분야에서의 3차원 영상 재건 기술은 견관절의 해부학적, 생역학적 복잡성에 비해 널리 이용되지 않았다. 그러나 최근들어 견관절 재건술 및

인공관절 치환술이 늘어남에 따라 견관절의 해부학적 복잡성을 이해하기 위한 사용이 늘어나고 있다. 본 중설에서는 정형외과 견관절 수술 영역에서 사용되는 3차원 영상 기술에 대하여 보고하고자 한다.

견관절 인공관절 치환술

원발성 퇴행성 관절염, 류마티스 관절염, 상완골두의 골괴사 및 외상 후 관절염 등의 진단을 가진 환자들 중 충분한 보존적 치료에도 불구하고 심한 통증이 지속되며 회전근개가 적절한 기능을 하는 경우 견관절 인공관절 치환술의 적응증이 된다 (4). 견관절 인공관절 치환술은 상기와 같은 질환으로 인한 관절의 변형을 정상적인 해부학적 관절면으로 복원하는 것을 목표로 한다. 견관절을 구성하는 상완골 근위부 및 견갑 관절와는 정상적인 해부학에서도 상당한 변이가 있으며 특히 관절염등의 병적 상태에서는 그 변이의 정도가 크고 관절운동 장애 및 동통을 유발한다 (5-7). 견관절의 정상적인 해부학 및 생역학의 복원을 위해서는 상완골두 치환물과 견갑 관절와 치환물을 해부학적인 위치에 정확하게 위치시키는 것이 중요하며, 이를 위해 수술전 견관절의 해부학적 요인, 인공치환물의 디자인 및 역학적 요인을 고려하여야 한다. 해부학적 요인으로는 상완골 경간각, 상완골두 크기 및 모양, 상완골두 오프셋, 골두-대결절 높이, 관절면 일치도, 후경사 관절와, 외측 관절와 상완 오프셋 등을 파악하여야 한다 (8, 9). 기존의 상완골두 치환물은 서양인을 기준으로 만들어졌기 때문에 골격이 왜소한 한국인을 비롯한 아시아인에게 최적의 임상 결과를 이끌어내기에는 부족한 면이 있다. 이에 Yoo 등 (10)은 한국인을 대상으로 하여 상완골 근위부의 형태학적 구조를 분석하였다. 100예를 대상으로 컴퓨터단층촬영을 시행하였고 시상면, 횡단면, 관상면 및 3차원 영상 재건 모델을 이용하여 상완골 근위부 및 상완골두의 구조적 수치를 제시하였으며, Boileau과 Walch (11)가 시행한 서양인의 상완골 해부학적 구조와 비교하여 한국인의 상완골 근위부 골격이 서양인의 골격보다 크다고 하였다. 또한 상완골의 해부학적 실측치와 3차원 재건 영상 측정치와의 오차정도를 비교하기 위해 신선 사체에서 추출한 상완골과 비교하여 유의한 차이가 없음을 보고하였다. 그러나 Cho 등 (12)은 상완골 3차원 영상 재건 모델을 이용하여 견관절 전치환술을 시행하고 기존의 치환물이 한국인을 비롯한 아시아인에게도 적합함을 보고하였다. 저자들은 한국인 48예를 대상으로 견관절 컴퓨터단층촬영을 시행하고 디지털 의료영상전송장치 (Digital Imaging and Communications in Medicine, DICOM) 영상정보를 이용하여 삼차원 컴퓨터지원설계 (3 Dimensional Computer Assisted Design, 3D CAD)로 견관절 삼차원 영상 모델을 만들어 가상의 상완골두 치환술을 시행하였다.

견관절 인공관절 치환술에서 상완골두의 크기뿐만 아니라 상완골두 및 견갑 관절와의 후경사도 중요한 해부학적 요소로 간주된다. 상완골두의 후경사는 0°~55°로 다양하게 보고되고 있다 (6, 9, 13). 일반적으로 수술시에는 30°~45°의 후경사를 권장하고 있지만 해부학적인 재건을 위해서는 수술전 환자에 맞는 상완골두의 후경사를 측정하는 것이 중요하다. 이를 위해 상완골두 후경사를 반복적으로 정확하게 측정할 수 있어야 한다. Polster 등 (14)은 사체의 컴퓨터단층촬영으로 얻어진 3차원 재건 영상과 X-선 영상을 획득하여 상완골두 후경사를 측정하였다. 저자들은 3차원 재건 영상에서 측정한 상완골두 후경사 측정치가 X-선 영상으로부터 얻어진 측정치에 비해 환자들의 자세와 상관없이 관찰자간 및 관찰자내 재현성이 더욱 뛰어난 것으로 보고하였다. 따라서 수술 전 3차원 재건 영상을 이용하여 환자의 상완골두 후경사를 측정하고 수술시에는 측정된 후경사 값에 맞추어 상완골두 절골술을 시행할 경우 우수한 결과를 기대할 수 있다고 하였다. 최근 보고에 의하면 견관절 인공관절 치환술의 합병증 중에서 삽입물의 해리가 가장 흔한 것으로 알려졌다 (15). 특히 관절와 삽입물의 해리로 인한 X-선상 투과선 형성은 상완골 삽입물보다 상당히 높은 빈도로 발생하고 있으며, 재수술의 가장 중요하고 흔한 원인이 되고 있다 (16). 견갑 관절와 치환물이 제 위치에 있지 않을 경우에는 견관절 불안정성과 함께 치환물에 과도한 힘이 가해져 조기해리등을 유발할 수 있다 (9, 17). 견갑 관절와의 후경사는 -3°~2°로 알려져 있으며 (18-20), 견관절염이 진행함에 따라 견갑 관절와 후방에 골침식이 나타나게 되어 상완골두의 후방전위가 일어나게 된다. 후방 골침식이 일어난 견갑 관절와에는 치환물이 동심성으로 안착될 수 있도록 확공기를 이용하여 중립 염전각을 이루도록 하는 것이 무엇보다 중요하다. 그러나 전형적인 후방 관절와 침식을 나타내는 경우는 15%에 불과하다고 보고되었다 (21). 특히 Hoenecke 등 (22)은 견갑 관절와의 후방에 최대 침식이 일어난다고 보고하였고 2차원 축상면 컴퓨터단층촬영만으로는 그 위치를 알 수 없기 때문에 컴퓨터단층촬영을 이용한 3차원 재건 영상으로 위치를 확인하여야 한다고 주장하였다.

만성 견관절 전방불안정성

외상으로 인한 견관절 전방불안정성은 견갑 관절와 전방부의 골소실을 초래하며 재발성 견관절 전방 탈구를 유발한다. Boileau 등 (23)은 25% 이상의 견갑 관절와 골소실이 있는 견관절 전방불안정성 환자에서 관절경적 수술을 시행했음에도 재발율이 75%에 이른다고 보고하였으며, Itoi 등 (24)이 시행한 사체 연구에서 견갑 관절와의 길이 중 21%가 소실될 경우 불안정성이 유발된다고 하였다. 따라서 골성 방카르트 병변 (Bony Bankart lesion)

을 포함한 견관절 전방불안정성에서의 견갑 관절과 골 소실정도를 정확히 파악하고 치료하는 것이 중요하다. 이를 위해 현재까지 X-선, X-선 형광투시, 2차원 컴퓨터단층촬영, 3차원 컴퓨터단층촬영, 자기공명영상장치를 이용하여 진단 및 치료하였다. 이 중에서 3차원 컴퓨터단층촬영의 효용성에 대해서 많은 연구가 이루어졌다. Griffith 등 (25)은 처음으로 견관절 탈구가 일어난 경우 41%에서 견갑 관절과 골 소실이 발생하며, 재발성 견관절 탈구시에는 86%에서 견갑 관절과 골 소실이 동반된다고 보고하였다. Huijsmans 등 (26)은 재발성 견관절 탈구의 90%에서 견갑 관절과 병변이 존재하며, 50%는 골절을 동반하고 40%는 골 미란이 동반된다고 보고하였다. 또한 Bishop 등 (27)은 사체를 이용한 연구에서 견갑 관절과 골 소실부의 정확한 계측을 위해서는 3차원 컴퓨터단층촬영이 가장 우수하다고 보고하였으며, 자기공명영상장치는 관절와순과 같은 연부조직을 확인하는데 유용할 수는 있지만 골 소실부의 확인은 어렵다고 하였다. 또한 3차원 영상 재건 모델을 이용할 경우 방카르트 병변과 동반되는 Hill-Sachs lesion을 동시에 관찰하고 치료계획을 세울 수 있는 장점이 있다.

결 론

3차원 컴퓨터 영상 재건 기술을 이용한 생체 연구는 매우 다양한 분야에서 이용되고 있다. 특히 인체의 해부학적 구조 및 생역학적 특성에 대하여 광범위한 종류의 데이터를 얻을 수 있는 장점이 있다. 최근 들어 견관절의 질환에 대한 관심도가 높아지면서 해부학적 구조 및 생역학적 특성을 이해하기 위한 3차원 컴퓨터 영상 재건 기술을 이용하는 빈도가 높아지고 있다. 앞으로는 3차원 영상 기술이 3차원 프린팅 기술과 접목되어 수술 전 환자와 완벽히 동일한 환경에서 시뮬레이션을 시행할 수 있을 뿐만 아니라 교육 목적으로도 널리 이용되어 의학발전에 많은 기여를 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Robertson DD, Sutherland CJ, Chan BW, Hodge JC, Scott WW, Fishman EK. Depiction of pelvic fractures using 3D volumetric holography: comparison of plain X-ray and CT. *Journal of Computer Assisted Tomography* 1995;19(6):967-974
2. Hopper KD, Iyriboz AT, Wise SW, Neuman JD, Mauger DT, Kasales CJ. Mucosal detail at CT virtual reality: surface versus volume rendering. *Radiology* 2000;214(2):517-522
3. Pena E, Calvo B, Martinez MA, Doblare M. A three-dimensional finite element analysis of the combined behavior of ligaments and menisci in the healthy human knee joint. *Journal of Biomechanics* 2006;39(9):1686-1701
4. Oh JH, Song BW. The Current State of Total Shoulder Arthroplasty. *Clin Should Elbow* 2011;14(2):253-261
5. DeLude JA, Bicknell RT, MacKenzie GA, et al. An anthropometric study of the bilateral anatomy of the humerus. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery/American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]* 2007;16(4):477-483
6. Hertel R, Knothe U, Ballmer FT. Geometry of the proximal humerus and implications for prosthetic design. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery/American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]* 2002;11(4):331-338
7. Roche C, Angibaud L, Flurin PH, Wright T, Fulkerson E, Zuckerman J. Anatomic Validation of an "Anatomic" Shoulder System. *Bulletin [Hospital for Joint Diseases(New York, N.Y.)]* 2006;63(3-4):93-97
8. Jeong J. Shoulder Prosthesis Mechanics. *J Korean Shoulder Elbow Soc* 2010;13(1):153-160
9. Pearl ML. Proximal humeral anatomy in shoulder arthroplasty: Implications for prosthetic design and surgical technique. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery/American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]* 2005;14(1 Suppl S):99s-104s
10. Yoo JH, Chung ST, Jo BC, Hyung JW, Bak DJ. Structural Analysis of Proximal Humerus in Korean. *J Korean Orthop Assoc* 2013;48(5):359-365
11. Boileau P, Walch G. The three-dimensional geometry of the proximal humerus. Implications for surgical technique and prosthetic design. *The Journal of bone and joint surgery. British Volume* 1997;79(5):857-865
12. Cho SW, Jharia TK, Moon YL, Sim SW, Shin DS, Bigliani LU. Three-dimensional templating arthroplasty of the humeral head. *Surgical and Radiologic Anatomy : SRA* 2013;35(8):685-688
13. Pearl ML, Volk AG. Retroversion of the proximal humerus in relationship to prosthetic replacement arthroplasty. *Journal of Shoulder and elbow surgery/American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]* 1995;4(4):286-289
14. Polster JM, Subhas N, Scalise JJ, Bryan JA, Lieber ML, Schickendantz MS. Three-dimensional volume-rendering computed tomography for measuring humeral version. *Journal of Shoulder and Elbow surgery/American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]* 2010;19(6):899-907
15. Bohsali KI, Wirth MA, Rockwood CA Jr. Complications of total shoulder arthroplasty. *The Journal of bone and joint surgery. American Volume* 2006;88(10):2279-2292
16. Iannotti JP, Gabriel JP, Schneck SL, Evans BG, Misra S. The normal glenohumeral relationships. An anatomical study of one hundred and forty shoulders. *The Journal of bone and joint surgery. American Volume* 1992;74(4):491-500
17. Wirth MA, Ondra J, Southworth C, Kaar K, Anderson BC, Rockwood CA 3rd. Replicating proximal humeral articular geometry with a third-generation implant: a radiographic study in cadaveric shoulders. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery/American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]* 2007;16(3 Suppl):S111-116
18. Hoenecke HR Jr, Hermida JC, Dembitsky N, Patil S, D'Lima DD. Optimizing glenoid component position using three-dimensional computed tomography reconstruction. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery/American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]* 2008;17(4):637-641
19. Friedman RJ, Hawthorne KB, Genez BM. The use of computerized tomography in the measurement of glenoid version. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 1992;74(7):1032-1037
20. Churchill RS, Brems JJ, Kotschi H. Glenoid size, inclination, and version: an anatomic study. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery/American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]* 2001;10(4):327-332
21. Walch G, Badet R, Boulahia A, Khoury A. Morphologic study of the glenoid in primary glenohumeral osteoarthritis. *The Journal of Arthroplasty* 1999;14(6):756-760
22. Hoenecke HR Jr, Hermida JC, Flores-Hernandez C, D'Lima DD. Accuracy of CT-based measurements of glenoid version for total shoulder arthroplasty. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery/American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]* 2010;19(2):166-171
23. Boileau P, Villalba M, Hery JY, Balg F, Ahrens P, Neyton L. Risk fac-

- tors for recurrence of shoulder instability after arthroscopic Bankart repair. *The Journal of bone and joint surgery. American* Volume 2006; 88(8):1755-1763
24. Itoi E, Lee SB, Berglund LJ, Berge LL, An KN. The effect of a glenoid defect on anteroinferior stability of the shoulder after Bankart repair: a cadaveric study. *The Journal of bone and joint surgery. American* Volume 2000;82(1):35-46
 25. Griffith JF, Antonio GE, Yung PS, et al. Prevalence, pattern, and spectrum of glenoid bone loss in anterior shoulder dislocation: CT analysis of 218 patients. *AJR. American Journal of Roentgenology* 2008; 190(5):1247-1254
 26. Huijsmans PE, Haen PS, Kidd M, Dhert WJ, van der Hulst VP, Willems WJ. Quantification of a glenoid defect with three-dimensional computed tomography and magnetic resonance imaging: a cadaveric study. *Journal of Shoulder and Elbow surgery/American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]* 2007;16(6):803-809
 27. Bishop JY, Jones GL, Rerko MA, Donaldson C. 3-D CT is the most reliable imaging modality when quantifying glenoid bone loss. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2013;471(4):1251-1256