

광학적 항법장치와 전자기장 항법장치의 정확성

송은규 · 선종근 · 박상진 · 윤택림 · 박경순 · 김성규

화순전남대병원 관절센터

Comparison of Accuracy of Navigation between Infrared Optical and Electromagnetic Systems

Eun Kyoo Song, Jong Keun Seon, Sang Jin Park, Taek Rim Yoon, Kyung Soon Park, Sung Kyu Kim

Department of Orthopedics, Center for Joint Disease, Chonnam National University
Hwasun Hospital, Hwasun, Korea

Purpose: This study compared the accuracy of mechanical axis measurement between infrared optical and electromagnetic navigation.

Materials and Methods: We compared the preoperative mechanical axes of 20 TKAs using both navigation systems. Experimentally, the mechanical axes of the synthetic bone model were compared and the true mechanical axis was determined using the ORTHODOC. Additionally, a surgeon intentionally registered incorrect landmarks and then measured the amount of mechanical axis change in the two navigation methods.

Results: Clinically, AxiEM provided greater varus ($10.25^\circ \pm 5.10^\circ$) than Orthopilot ($9.02^\circ \pm 5.18^\circ$). The mean mechanical axis difference was 1.23° and a difference greater than 3° in the same patient occurred in 15% of patients. For the synthetic bone, the true mechanical axis was varus 1.25° , OrthoPilot displayed varus $1.10^\circ \pm 0.64^\circ$ and AxiEM varus $1.78^\circ \pm 0.79^\circ$. The mechanical axis differences were not significantly different, but OrthoPilot had more reproducibility. When anatomical landmarks were erroneously identified, AxiEM showed a greater change in the mechanical axis.

Conclusion: Both navigation systems provided high mechanical axis accuracy and reproducibility under experimental conditions. Infrared optical navigation was more reproducible than electromagnetic navigation. In the clinical setting, there was a disparity of mechanical axis difference greater than 3° in 15% between the two navigation methods in the same patient.

Key Words: Infrared optical navigation, Electromagnetic navigation, Accuracy, Total knee arthroplasty

서 론

컴퓨터를 이용한 항법 장치로는 광학적 항법장치, 전자기장 항법 장치, 그리고 최근 초음파를 이용한 항법 장치 등이 있으며 이들은 실험적으로 대부분 1 mm 혹은 1° 미만의 오차 범위를 갖는다고 보고되고 있다^{1,5,13,15}. 이중 적외선을 이용한 광학적 항법 장치가 가장 보편화되어 있으며 10년 정도의 임상 경험을 가지고 있

며 그 정확도에 대해서 어느 정도 동의가 얻어지고 있다^{2,3,8,9,18,20}.

하지만 아직까지 광학적 항법장치와 전자기적 항법장치 간에 정확성에 대한 비교연구는 없는 실정이며 이에 본 저자는 인공 슬관절 치환술에서 사용되어지고 있는 컴퓨터를 이용한 항법 장치 중 광학적 항법장치와 전자기장 항법장치를 이용하여 동일 환자에서 술 전 하지의 역학적

통신저자 : 박 상 진

전남 화순읍 일심리 160

화순전남대병원 관절센터

TEL: 061-379-7676 · FAX: 061-379-7681

E-mail: park5962@paran.com

Address reprint requests to

Sang Jin Park, M.D.

Department of Orthopedics, Chonnam National University Hwasun Hospital,

160, IIsim-ri, Hwasun-eup, Hwasun 519-809, Korea

Tel: +82,61-379-7676, Fax: +82,61-379-7681

E-mail: park5962@paran.com

*이 논문은 2004년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*This study was financially supported by Chonnam National University, 2004.

축을 측정하여 두 항법장치 간에 역학적 축 측정의 차이가 있는지 알아보고자 하였다. 또한 실험적으로 하지 골 모형의 역학적 축을 측정, 비교하여 두 항법 장치간 정확도를 비교하였으며 마지막으로 해부학적 등록 오류시 각각의 항법장치에서 나타나는 역학적 축의 변화를 비교하였다.

대상 및 방법

1. In vivo 실험

20예의 인공 슬관절 전 치환술을 대상으로 적외선 광학적 항법 장치인 Orthopilot (Aesculap, Tuttlingen, Germany)과 전자기장 항법장치인 AxiEM (Medtronic Navigation, CoalCreek, Colo., USA)을 이용하여 수술 전 하지의 역학적 축을 측정하여 비교하였다. 또한 체중 부하 하지 전장 전후면 사진을 이용하여 하지의 역학적 축을 방사선학적으로 측정하였다. 두 개의 항법장치의 사용 순서는 10예에서는 광학적 항법장치를, 나머지 10예에서는 전자기장 항법장치를 먼저 장착하였고 이후 나중에 사용한 항법장치를 이용하여 수술을 진행하였으며 한 술자에 의해서 진행되었다.

2. 하지 골 모형을 이용한 정확성 비교

두 항법 장치간의 하지 역학적 축 측정값의 차이가 실험적 모델에서도 나타나는지 알아보기 위하여 시행한 실험적인 연구로 먼저 골반골부터 발까지를 포함한 하지 전장의 골 모형(Sawbones, Pacific Laboratories, Vashon, Washington)을 이용하였으며 전자기장에 영향을 받지 않도록 티타늄을 사용하여 고관절, 슬관절, 족관절 가동 관절을 만들었다. 이 때 슬관절은 내반 혹은 외반 운동을 허용하지 않도록 제작하였다(Fig. 1).

Orthopilot과 AxiEM을 사용하여 실제 수술과 동일하게 해부학적 지표와 운동학적 관절 중심을 두 항법장치에 등록한 후 두 항법장치가 측정한 역학적 축을 기록하였으며 4명의 정형외과 의사가 각각 10회씩 시행하였고 이때 2명의 정형외과 의사(A, B)는 항법장치에 대하여 100예 이상의 임상 경험이 있는 상태였으며 나머지 2명의 의사(C, D)는 그렇지 않은 상태였다.

진성 역학적 축을 측정하기 위하여 골 모형을 전산화 단층촬영 후 대퇴골 두, 원위 대퇴부, 근위 경골 그리고 족근 관절의 중심을 정의하여 로봇을 이용한 슬관절 치환술의 수술 전 계획 프로그램인 ORTHODOC (CUREXO

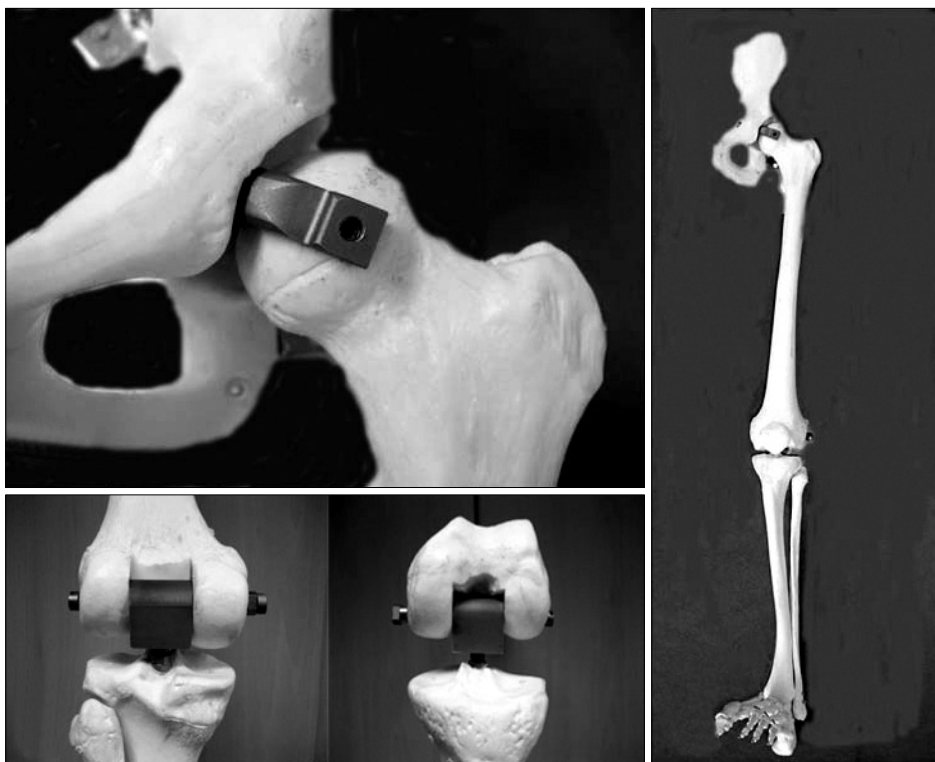


Fig. 1. Synthetic bone models. The hip, knee and ankle joint are made of titanium which have no effect on electromagnetic field and the knee joint is constrained not allowing varus or valgus motion.

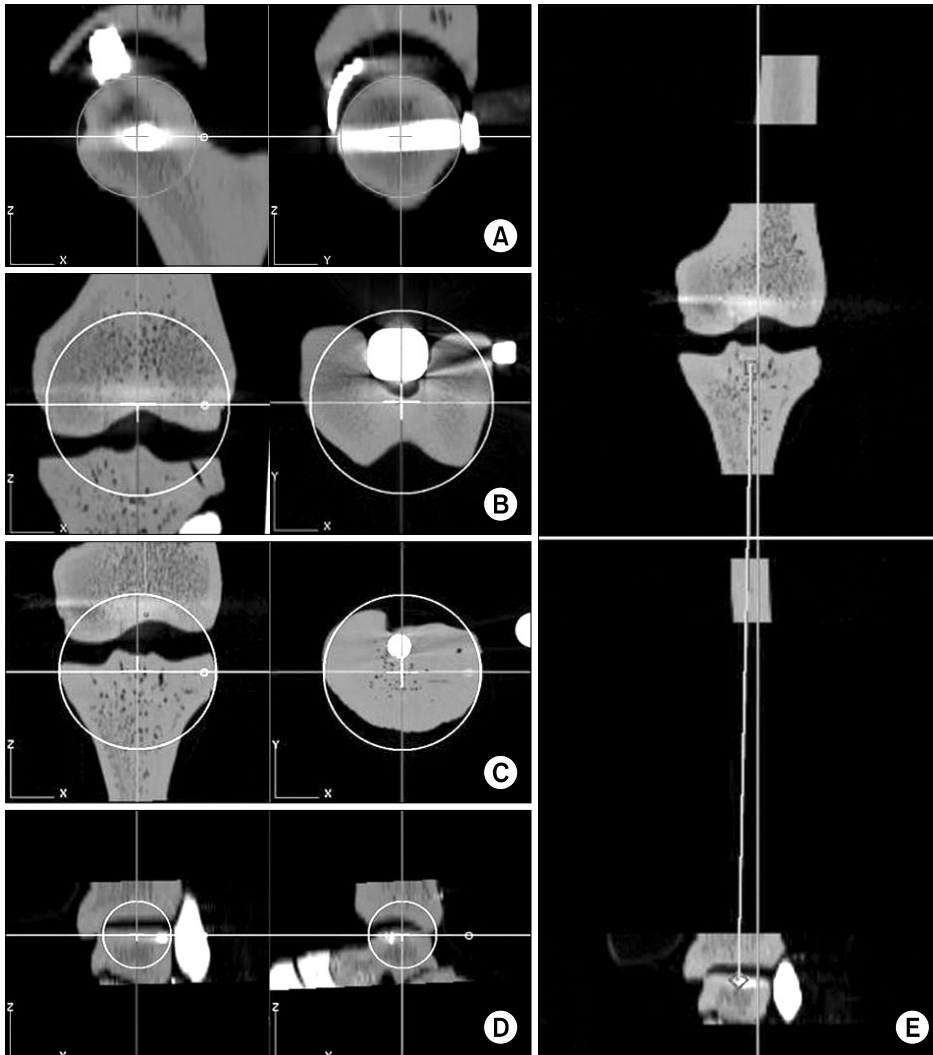


Fig. 2. (A-E) Proceeding of ORTHODOC system: (A) Femoral head center, (B) Center of distal femur, (C) Center of proximal tibia, (D) Ankle center, and (E) Measurement of mechanical axis.

Technology Corp. Sacramento, CA)을 이용하여 역학적 축을 측정하였다(Fig. 2). 1.0 mm 간격으로 컴퓨터 단층 촬영(helical CT)을 찍어 단면 영상을 얻은 후 ORTHODOC을 이용하여 3차원의 영상을 얻었다. 고관절과 대퇴 원위부의 중심과 근위 경골과 족근 관절의 중심에 동심원을 그린 후 3개의 단면(시상, 관상, 축상면)에서 모두 동심원이 각 관절의 중심에 있는 것을 확인하여 세 관절의 중심을 정의하였고 시상면에서 완전 신전 상태임을 확인한 후에 관상면에서 고관절과 대퇴 원위부의 중심을 잇는 선과 근위 경골의 중심과 족근 관절의 중심을 잇는 선이 이루는 각을 측정하여 역학적 축으로 결정하였다. 진성 역학적 축의 측정은 2명의 정형외과 의사(A, B)에 의하여 각각 5회 시행하였다(Fig. 2).

3. 의도적으로 잘못된 해부학적 등록

같은 모형에 대하여 해부학적 위치를 의도적으로 잘못 등록시킨 후 역학적 축의 변화를 알아보았다(Fig. 3). 대퇴 원위부 중심, 근위 경골의 중심, 족근 관절의 중심 및 양과를 10 mm 내측과 외측에 등록시킨 후 발생한 역학적 축의 변화를 원래의 결과와 비교하였다. 대퇴하부, 근위 경골 그리고 족근 관절의 중심에 표식을 한 후 역학적 축을 측정하였고 이후 각각 자를 이용하여 이 중심의 내측과 외측의 10 mm 지점을 표시한 후 재 등록하여 역학적 축의 변화를 측정하였다. 족관절의 내과와 외과의 잘못된 해부학적 등록을 위하여 10 mm 크기의 정육면체를 사용하였고 족근 관절의 중심에 의도적인 오류 등록 실험은 Orthopilot 항법장치에서만 선택적으로 시행하였고

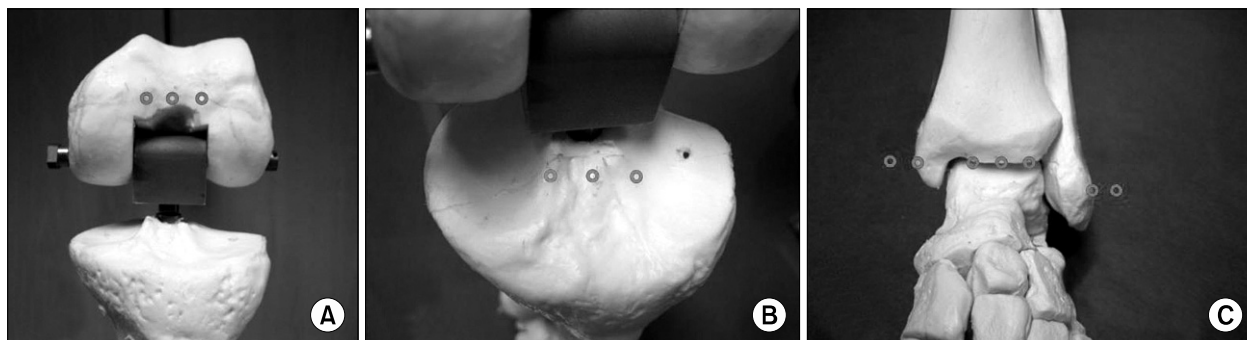


Fig. 3. (A-C) Erroneous identification of anatomical landmarks: (A) Distal femur, (B) Proximal tibia, and (C) Ankle.

Table 1. Preoperative Mechanical Axis of TKA Patients Preoperatively Determined Using Both Navigation Systems

	Scanogram	Orthopilot	AxiEM
MA (°) varus	9.45±7.90	9.02±5.18	10.25±5.10

MA, mechanical axis (p=0.078).

한 명의 술자에 의해 시행되었다.

4. 통계 분석

통계 분석에는 SPSS version 12.0 Win (SPSS, Inc., Chicago, IL)을 사용하였으며, 역학적 축의 차이는 Mann-Whitney test를 이용하여 유의수준 0.05 이하로 검정하였으며, 관찰자간, 관찰자내 변이는 Pearson's correlation analysis를 이용하여 검정하였다.

결 과

1. 임상적 결과

체중 부하 하지 전장 전후면 사진을 이용한 하지의 역학적 축은 내반 9.45±7.90°이었으며, Orthopilot은 내반 9.02±5.18°, AxiEM은 내반 10.25±5.10°로 AxiEM이 평균 1.23° 더 큰 내반을 보였으나, 통계적 유의성은 관찰되지 않았다(p=0.07). 동일한 환자에서 측정된 역학적 축이 두 항법 장치 간에 3° 이상의 차이가 있었던 경우도 15%이었다(Table 1, 2).

2. 실험적 결과

골 모형의 역학적 축은 ORTHODOC을 이용한 경우 평균 내반 1.25±0.15°였고, Orthopilot은 평균 내반 1.10±0.64°, AxiEM은 평균 내반 1.78±0.79°를 보였

Table 2. Mechanical Axis Difference between Two Navigations in the Same Patient

Difference range (°)	No. of cases (%)
No difference	1 (5%)
Less than 1	5 (25%)
Less than 2	6 (30%)
Less than 3	5 (5%)
More than 3	3 (15%)

Table 3. Mechanical Axis of Synthetic Bone Model

	ORTHODOC (°)	Orthopilot (°)	AxiEM (°)
A	-1.3±0.14	-1.4±0.54	-1.9±0.68
B	-1.2±0.16	-1.2±0.47	-1.8±0.64
C	*	-0.8±0.83	-1.6±0.86
D	*	-1.0±0.54	-1.8±0.83
Mean (SD)	-1.25±0.15	-1.10±0.64	-1.78±0.79

-, negative symbol indicates varus; *, it was not checked.

으나 통계적 유의성은 없었다(p=0.12)(Table 3). Orthopilot에 비하여 AxiEM이 0.68° 내반의 측정값을 보였고, 전례에서 orthopilot은 0, 내반 1, 2°의 값을, AxiEM은 0, 내반 1, 2, 3°의 값을 보였으며, 두 항법 장치에서 내반 1 또는 2도의 값을 보인 경우가 각각 86%로 비교적 높은 정확도와 재현성을 나타내었다(Fig. 4). Pearson's correlation analysis를 이용하여 관찰자간, 관찰자내 변이에 대해 검정하였으며 Pearson's correlation coefficient는 최대 0.791 (p=0.003)부터 최소 0.611 (p=0.018)이었으며, 관찰자내 변이에서 Pearson's correlation coefficient는 최대 0.934 (p=0.000)부터 최소 0.798 (p=0.018)로 이들 모두 통계적 유의성은 관찰되지 않았다.

한가를 결론내기는 어려운데 이는 술 전 방사선에 의한 역학적 축의 평가는 환자의 자세, 술 전 굴곡 구축, 하지의 회전 변형 정도, 방사선 촬영 자체의 왜곡 현상 등에 의해 역학적 축이 달라질 수 있기 때문이다. 하지만 임상 실험 결과 두 항법 장치의 역학적 축의 측정에 다소 차이가 있다는 사실이 확인되었다. 실험적으로 광학적 항법 장치와 전자기장 항법장치는 모두 1 mm 혹은 1° 이내의 오차 범위 내의 정확도를 보고하고 있다^{7,11,13,17,21}. 적외선을 이용한 광학적 항법 장치를 사용하여 측정한 역학적 축의 정확성에 대한 여러 보고가 있는데, Pitto 등¹³은 정상축(normal alignment)에서 적외선 항법 장치의 평균 오차는 0.5° 이내, 비정상적 축(abnormal alignment)에서는 평균 오차 1.0° 이내로 보고하였고, Yau 등²¹은 사체 연구에서 관상면에서 최대 1.32° , 시상면에서 최대 4.17° 의 오차 범위를 갖는다고 보고하였다. 전자기장을 이용한 항법 장치를 사용한 실험들도 많이 보고되어 있는데 Hummel 등⁷은 Aurora 장치의 경우 상대적인 거리 오차는 0.97 mm, 회전 오차는 $0.2-0.91^\circ$ 로 비교적 정확하나 400 series 스테인레스 금속에 유의한 변형이 발생할 수 있다고 하였다. 금속 삽입물이 전자기장 항법 장치에 미치는 영향에 대하여 Schicho 등¹⁷은 Aurora 장치는 견인기(Langenbeck hook)에 의해서 평균 1.44 mm 길이 오차를, 드릴(drill)에 의해서 평균 0.53 mm 길이 오차를, 그리고 초음파 탐식자(US scan-head)에 의해서 평균 2.37 mm 길이 오차를 보고하였으며, 같은 실험으로 최근 개발된 Treo-EM 장치는 견인기에 의해서 평균 0.21 mm, 드릴에 의해서 평균 0.23 mm, 초음파 탐식자에 의해서 평균 0.56 mm 길이 오차를 보고하였다. 위의 보고에서 보듯이 전자기장을 이용한 항법 장치는 금속 삽입물에 영향을 받는 것은 사실이나 최근 개발된 전자기장 추적 장치들은 보다 정확하고 특히 수술장에서 사용되는 금속 기구에 의한 영향이 훨씬 적다고 보고되고 있다^{7,14,15,17}. 본 연구에서는 임상적으로 관찰된 두 항법장치의 불일치 소견이 실험적 환경에서도 일어나는지, 만약 그렇다면 어떤 시스템이 보다 정확한지 알아보려고 하였다. 실험을 위하여 금속에 의한 자기장 교란으로 인한 오차를 줄이기 위하여 티타늄을 사용하여 가동 관절을 만들어 전자기장 항법 장치의 오차를 줄이도록 하였고 등록과정에서 관절 이완에 따른 역학적 축 변화를 방지하기 위하여 슬관절의 내반, 외반 운동을

허용치 않도록 제작하였다. 골 모형의 정확한 역학적 축은 ORTHODOC 장치에서 측정한 값으로 내반 1.25° 였으며, Orthopilot에 의한 측정값은 내반 1.10° , AxiEM에 의한 측정값은 내반 1.78° 로 두 항법장치에 큰 차이는 관찰되지 않았고 두 장치 모두 비교적 정확함을 알 수 있었다. 관찰자내, 관찰자간의 차이도 보이지 않았는데 이는 골 모형이 비교적 해부학적 구조가 명확하여 비록 경험이 많지 않더라도 비교적 정확한 등록을 할 수 있었기 때문으로 사료된다. 수치적으로 두 항법 장치 사이의 역학적 축의 차이는 평균 0.68° 로 의미가 없어 보이나, 실제 Orthopilot의 경우는 모든 예에서 0, 내반 $1, 2^\circ$ 의 값을 보인 반면, AxiEM은 0 내반 $1, 2, 3^\circ$ 의 값을 보여 Orthopilot이 보다 정확도와 재현성이 높음을 알 수 있었고 가장 최악의 경우 두 항법 장치가 3° (예, Orthopilot 0° , AxiEM 내반 3°)의 차이를 보일 수 있음을 알 수 있었다(Fig. 4). 또한 실험적으로 AxiEM이 상대적으로 큰 내반 값을 제공하였는데 이는 임상적으로 술 후 다소 외반 교정의 경향을 보일 수 있다는 것으로 술자의 주의를 요한다. 해부학적 등록이 잘못된 경우 두 항법 장치 모두 이로 인하여 역학적 축의 측정에 영향을 받았는데, 이러한 변화는 AxiEM에서 변화 범위가 커서, AxiEM의 경우 등록 전체 과정에서 주의를 요해야 함을 알 수 있었고, Orthopilot에서는 근위 경골과 족근 관절 중심부 등록 시 영향을 많이 받음을 알 수 있었다. 이러한 차이는 두 항법 장치의 추적자(transmitter or tracker)와 추적 장치의 차이에 기인했을 수도 있으나 역학적 축을 결정하는 관절 운동 중심과 해부학적 등록 방법의 차이에도 기인했으리라 생각된다. Orthopilot은 일차적으로 고관절, 슬관절, 족근 관절의 관절 운동을 시행하여 각 관절의 운동 중심(kinematic center)을 기준으로 역학적 축을 결정하며 이후 원위 대퇴의 중심, 근위 경골의 중심, 족근 관절의 중심과 내, 외과 등을 해부학적으로 등록하고 이미 얻어진 관절운동의 중심점과 수학적 보정을 통하여 역학적 축을 결정하는 방식인 반면 AxiEM은 고관절 만을 운동 중심 방식으로 등록한 후 원위 대퇴의 중심, 근위 경골의 중심, 족근 관절의 내, 외과를 해부학적으로 등록하여 하지의 역학적 축을 얻으므로 술자가 해부학적 등록을 잘못된 경우 역학적 축이 달라질 가능성이 더 많을 것으로 사료된다. 또한 고관절의 운동 중심 등록 방법도 약간 다른데 Orthopilot의 경우 회전 운동을 통해서, AxiEM의 경

우 신전, 굴곡과 외전, 내전 등 직선 운동을 통해서 운동의 중심을 등록하고 있다. 따라서 해부학적 등록 위치가 명확한 모형을 가지고 실험한 경우 두 항법 장치간의 역학적 축의 측정값의 차이가 많지 않을 수 있으나 연부 조직으로 덮여 정확한 해부학적 등록이 어려운 실제 환자의 경우 AxiEM의 경우 오류의 가능성이 높다고 사료된다. 이 연구에 사용된 광학적 항법 장치는 12년 이상 임상적으로 사용되어오던 것이며 전자기장 항법장치는 기존의 광학적 항법 장치에 비하여 추적자(tracker)가 상대적으로 작아 기존의 수술 절개를 이용하여 장착할 수 있고 장비나 손에 의해 카메라와 추적자가 가려지는 현상(line of sight)이 없는 장점이 있으나 강자성 금속성 기구에 영향을 받을 수 있어 특수한 수술 기구를 사용하여야 하는 단점이 있고 수술장 환경에서 사용되어지는 여러 전자장치와 기계들에 의한 전자기장 영향은 여전히 수술실 환경 아래서 그 정확성에 대한 불신이 있는 것이 사실이다. 저자들은 실험적 환경에서 전자기장 항법장치도 비교적 정확하다고 결론지었다. 하지만 실제로 우리의 연구에서 수술장 환경에서 두 항법장치는 15%에서 3° 이상 역학적 축의 측정값의 차이를 보였는데 이는 실제 환자에서 보이는 해부학적 등록 지점의 모호함과 이에 따른 등록의 오류, 등록 오류시 역학적 축에 영향을 더 많이 받는 전자기장 항법장치의 등록 시스템 등에 기인하는 것으로 사료되거나 전자기장 신호 간섭에 의해 생겨나는 정보오류(data outlier)의 가능성도 여전히 남아있다.

결 론

실험적으로 적외선을 이용한 광학적 항법 장치와 전자장치를 이용한 항법 장치는 비교적 높은 정확도와 재현성이 있음을 알 수 있었다. 그러나 두 항법 장치 모두 잘못된 등록에 의하여 그 정확성이 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었고 이러한 부정확성은 전자기장 항법 장치에서 보다 높았다. 임상적으로도 두 항법 장치간의 역학적 축 측정의 불일치를 확인할 수 있었는데, 이러한 불일치의 원인으로는 실제 환자에서 해부학적 등록 지점의 모호함과 이에 따른 등록의 오류, 등록 오류시 역학적 축에 영향을 더 많이 받는 전자기장 항법장치의 등록 시스템 등에 기인하는 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Amin DV, Kanade T, DiGioia AM 3rd, Jaramaz B: Ultrasound registration of the bone surface for surgical navigation. *Comput Aided Surg*, 8: 1-16, 2003.
2. Anderson KC, Buehler KC, Markel DC: Computer assisted navigation in total knee arthroplasty: comparison with conventional methods. *J Arthroplasty*, 20(7 Suppl 3): S132-S138, 2005.
3. B  this H, Perlick L, Tingart M, L  ring C, Zurakowski D, Grifka J: Alignment in total knee arthroplasty. A comparison of computer-assisted surgery with the conventional technique. *J Bone Joint Surg Br*, 86: 682-687, 2004.
4. Bolognesi M, Hofmann A: Computer navigation versus standard instrumentation for TKA: a single-surgeon experience. *Clin Orthop Relat Res*, 440: 162-169, 2005.
5. Chen TK, Abolmaesumi P, Pichora DR, Ellis RE: A system for ultrasound-guided computer-assisted orthopaedic surgery. *Comput Aided Surg*, 10: 281-292, 2005.
6. Huitema RB, Hof AL, Postema K: Ultrasonic motion analysis system-measurement of temporal and spatial gait parameters. *J Biomech*, 35: 837-842, 2002.
7. Hummel J, Figl M, Birkfelner W, et al: Evaluation of a new electromagnetic tracking system using a standardized assessment protocol. *Phys Med Biol*, 51: 205-210, 2006.
8. Jenny JY, Boeri C, Picard F, Leitner F: Reproducibility of intra-operative measurement of the mechanical axes of the lower limb during total knee replacement with a non-image-based navigation system. *Comput Aided Surg*, 9: 161-165, 2004.
9. Jenny JY, Clemens U, Kohler S, Kiefer H, Konermann W, Miehke RK: Consistency of implantation of a total knee arthroplasty with a non-image-based navigation system: a case-control study of 235 cases compared with 235 conventionally implanted prostheses. *J Arthroplasty*, 20: 832-839, 2005.
10. Khadem R, Yeh CC, Sadeghi-Tehrani M, et al: Comparative tracking error analysis of five different optical tracking systems. *Comput Aided Surg*, 5: 98-107, 2000.
11. Lionberger R: The attraction of electromagnetic computer-assisted navigation in orthopaedic surgery. In: Stiehl JB,

- Konermann W, Hacker R, eds. *Navigation and MIS in orthopaedic surgery*. Heidelberg, Germany, Springer Verlag: 44-53, 2006.
12. Maculé-Beneyto F, Hernández-Vaquero D, Segur-Vilalta JM, et al: Navigation in total knee arthroplasty. A multicenter study. *Int Orthop*, 30: 536-540, 2006.
 13. Pitto RP, Graydon AJ, Bradley L, Malak SF, Walker CG, Anderson IA: Accuracy of computer-assisted navigation system for total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*, 88: 601-605, 2006.
 14. Poulin F, Amiot LP: Interference during the use of an electromagnetic tracking system under OR conditions. *J Biomech*, 35: 733-737, 2002.
 15. Rosenow JM, Sootsman WK: Application accuracy of an electromagnetic field-based image-guided navigation system. *Stereotact Funct Neurosurg*, 85: 75-81, 2007.
 16. Saragaglia D, Picard F, Chaussard C, Montbarbon E, Leitner F, Cinquin P: Computer-assisted knee arthroplasty: comparison with a conventional procedure. Results of 50 cases in a prospective randomized study. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 87: 18-28, 2001.
 17. Schicho K, Figl M, Donat M, et al: Stability of miniature electromagnetic tracking systems. *Phys Med Biol*, 50: 2089-2098, 2005.
 18. Stiehl JB, Heck DA: Six sigma analysis of computer-assisted surgery tracking protocols in TKA. *Clin Orthop Relat Res*, 464: 105-110, 2007.
 19. Stöckl B, Nogler M, Rosiek R, Fischer M, Krismer M, Kessler O: Navigation improves accuracy of rotational alignment in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, 26: 180-186, 2004.
 20. Stulberg SD, Loan P, Sarin V: Computer-assisted navigation in total knee replacement: results of an initial experience in thirty-five patients. *J Bone Joint Surg Am*, 84(Supp 2): S90-S98, 2002.
 21. Yau WP, Leung A, Chiu KY, Tang WM, Ng TP: Intraobserver errors in obtaining visually selected anatomic landmarks during registration process in nonimage-based navigation-assisted total knee arthroplasty: a cadaveric experiment. *J Arthroplasty*, 20: 591-601, 2005.

= 국문초록 =

목 적: 광학적 항법장치와 전자기장 항법 장치를 이용하여 하지의 역학적 축을 측정하고 그 정확성을 비교하였다.

대상 및 방법: 슬관절 치환술 환자에서 Orthopilot과 AxiEM을 이용하여 술 전 역학적 축을 측정하였다. 골 모형을 이용하여 역학적 축을 측정하였고 이를 ORTHODOC으로 측정된 값과 비교하였다. 두 기기의 해부학적 등록 오류에 따른 역학적 축의 변화값을 비교하였다.

결 과: 임상적으로 측정된 역학적 축은 AxiEM에서($10.25 \pm 5.10^\circ$) Orthopilot보다($9.02 \pm 5.18^\circ$) 더 내반을 보였다. 두 항법 장치간의 평균 역학적 축의 차이는 1.23° 였고 동일 환자에서 측정된 값이 두 항법 장치간에 3° 이상 차이가 있었던 경우는 15%였다. 골 모형의 실제 역학적 축은 내반 $1.25 \pm 0.15^\circ$ 였고, Orthopilot은 $1.10 \pm 0.64^\circ$, AxiEM은 $1.78 \pm 0.79^\circ$ 를 보여 통계적으로 두 항법장치간의 차이는 없었으나 Orthopilot이 재현성이 더 높았다. 등록오류에 의한 역학적 축의 변화는 AxiEM에서 컸다.

결 론: 실험적으로 두 항법 장치는 높은 정확도와 재현성을 보여주었으나 광학적 항법장치가 보다 더 재현성이 높았다. 임상적으로는 두 항법 장치간의 불일치를 경험할 수 있었다.

색인 단어: 광학적 항법장치, 전자기장 항법장치, 정확도, 인공 슬관절 치환술