

항법장치를 이용한 골종양 수술

경북대학교 의과대학 정형외과학교실, 서울대학교 의과대학 정형외과학교실*

조환성 · 박일형 · 문종욱 · 김한수*

컴퓨터를 이용한 정형외과 수술(Computer-assisted orthopaedic surgery, CAOS) 분야는 인공관절 치환술, 십자 인대 재건술, 척추경 나사삽입술 등의 수술에서 그 효용성과 정확성에 대해 많은 평가가 있었다. 최근에는 골종양의 절제와 종양 절제 후 발생한 골결손 재건에 적용한 증례가 보고되고 있다. 종양과 정상조직 간의 3차원 관계를 보여 줌으로써, 종양의 안전한 절제 뿐 아니라 기능의 보존을 최대화하는데 도움을 줄 수 있다. 그러나, navigation을 골종양 수술에 이용하기 위해서는 사용방법에 대한 완벽한 이해와 정확성 뒤에 숨어 있는 오차에 대해 숙지하고 있어야 할 것이다. 저자의 임상 경험을 토대로 종양 수술에서 navigation을 이용할 때 수술 방법과 일반 정형외과 수술에서의 navigation 사용과 다른 점을 기술하고자 한다.

서 론

인공관절 치환술, 십자 인대 재건술, 척추경 나사삽입술 등과 같은 정형외과 영역에서 navigation을 이용한 수술의 효용성에 대해 많은 평가가 있었다^{1,4,6)}.

최근에는 골종양의 절제와 종양 절제 후 발생한 골결손 재건에 적용한 증례가 보고되고 있다^{2,5,8,10,11)}. 골간단부에 생긴 악성 골종양에서 navigation을 이용한 수술은 주위관절을 보존하는데 도움을 주며³⁾ 천골부 연골육종의 절제에 이용한 보고가 있었다^{2,5)}.

CT와 MRI는 골종양과 연부조직 종양의 절제 범위를 평가하는데 중요한 진단도구이나 수술도중 CT와 MRI에서 얻어진 삼차원적 정보를 직접 이

용하기에는 한계를 가진다.

Navigation을 이용한 골종양 절제의 장점은 수술 중 종양과 정상조직 간의 3차원적 관계를 알 수 있어 종양의 안전한 절제와 더불어 불필요한 절제를 줄임으로써 수술 후 기능을 최대화 할 수 있다는 데에 있다. 특히, 골반골이나 천골은 구조 자체가 복잡하고 골반골에 생기는 종양은 장골 동맥, 대퇴골 및 좌골 신경 등의 중요한 해부학적 구조물에 인접하여 수술이 어려운데 이러한 경우 navigation을 이용한 종양의 절제는 매우 유용하다. 또한, 골간단부에 생긴 악성 골종양에서 navigation을 이용한 수술은 주위관절을 보존하는데 도움을 준다³⁾.

Navigation을 이용한 골종양 수술 방법과 주의점

※통신저자: **조 환 성**

대구광역시 중구 동덕로 200

경북대학교 의과대학 정형외과학교실

Tel: (053) 420-6322, Fax: (053) 422-6605, E-mail: mdchs111@snu.ac.kr

*본 논문의 요지는 2009년도 대한정형외과학회 춘계학술대회에서 발표되었음.

*본 연구는 보건 의료기술 연구개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

에 대해 기술하고자 한다.

방 법

1. Fiducial marker placement

일반적으로 navigation 사용하기 위해서는 환자-영상간 정합(patient-to-image registration)이 필요한데(C-arm을 이용하는 경우 registration이 필요하지 않을 수도 있다) 그 방법에는 크게 paired-point registration과 surface-matching registration의 두 가지 방법이 있다. 술자에 따라 선호하는 방법이 다를 수 있는데 골종양에서 navigation을 이용하는 경우에 저자는 paired-point registration을 선호한다. Surface registration을 이용하기 위해서는 피질골이나 관절면의 노출이 필요한데 이럴 경우 종양 오염의 가능성이 있고, 수술절개선 이외의 추가 피부절개와 연부조직 손상이 필요할 수 있다. Paired-point registration은 수술 시 ASIS, greater trochanter, epicondyle 등과 같이 anatomical landmark를 이용하는 방법과 수술 전 fiducial marker를 부착시키고 3차원 영상을 얻은 후 수술 시 fiducial marker와 영상 위의 fiducial marker를 match시키는 방법이 있다. 그러나 전자의 경우 anatomical landmark라 하더라도 실제 뼈의 한 점과 영상 위에서의 그에 해당하는 한 점을 정확하게 일치시키는 일은 매우 힘들어 거의 불가능하다. 또한 anatomical landmark가 종양에 포함되어 있는 경우 이를 registration에 이용할 수 없다²⁾.

Fiducial marker를 이용한 paired-point registration은 신경외과 수술에서 널리 이용되고 있다. 두피에 fiducial marker를 붙이고 CT나 MRI와 같은 3차원 영상을 얻은 후 시행한다. 그러나 정형외과 수술에서는 피부에 fiducial marker를 붙이는 방법은 이용할 수 없다. 두피의 경우 두개골과 거리가 가깝고 비교적 단단히 붙어 있어 두개골의 피질골을 반영할 수 있으나 사지의 피부는 피질골과 거리가 멀고 관절운동에 따라 피부와 골격 간의 관계가 달라지기 때문에 이 방법을 이용할 수 없다. 따라서 fiducial marker를 피질골에 위치시키고 영상을 얻어야 한다. 이 때 사용되는 fiducial marker

는 주로 금속나사나 금속강선을 이용한다(금속나사보다는 금속강선이 registration 오차가 적어 주로 이용된다). 이 방법은 정형외과 영역에서 처음 navigation이 도입될 때 사용한 방법으로 매우 익숙한 방법이다. 그러나 수술 전에 금속강선 같은 fiducial marker를 삽입하기 위한 기술이 필요하다는 단점이 있다.

2. Image

금속강선을 삽입한 후 수술 전 CT 영상을 얻는데 이 때 가능하면 금속강선의 두께보다 얇게 slice를 얻어 CT 영상에서 금속강선을 놓치지 않도록 하여야 한다. CT 이외에 추가로 MRI 혹은 PET-CT 등을 수술 시 guide 영상으로 사용하기 위해서는 영상통합(image fusion)을 시행한다^{3,10)}. 최근에는 자동화 영상통합 프로그램이 많이 개발되어 있어 이를 이용할 수도 있으나 사지골에서 실제로 사용하면 오차가 커서 여전히 manual로 직접 시행하는 경우가 많다.

3. Operation

수술 중 사지의 움직임을 감지하기 위해서는 dynamic reference-base (DRB)를 수술하는 뼈에 고정시켜야 한다. Navigation을 이용하는 동안에는 DRB가 움직이지 않게 견고하게 고정하는 것이 필수적이다. 만약 고정이 견고하지 않아 수술 도중 헐거워지면 다시 고정하고 registration 과정을 반복하여야 한다⁷⁾. Navigation system과 수술 부위에 따라 고정 나사의 개수, 굵기, 모양을 달리 하는 여러 가지 고정 장치가 있다. DRB는 절제하고자 하는 영역 밖에 위치시켜야 한다. DRB를 고정하고 난 후 가장 먼저 해야 할 일은 실물 세계(환자의 뼈)의 좌표계와 컴퓨터 내의 영상(CT와 이의 다평면 재구성 및 3차원 재구성 영상)의 좌표계를 일치시키는 과정인데, 이러한 두 개의 좌표계를 일치시키는 과정을 환자-영상간 정합(patient-to-image registration)이라고 한다. 저자는 종양수술에서는 fiducial marker를 이용한 paired point registration을 선호한다.

피부절개와 연부조직 박리는 통상적인 방법으로

시행하고, 절골 시에 navigation을 사용하게 된다. 수술하는 부위에 따라 아래에 기술된 각각의 주의점을 염두에 두고 시행한다.

4. 주의점

1) Fiducial marker placement

Fiducial marker로 이용될 금속강선을 삽입하는 위치 선정이 navigation을 이용한 골종양 수술에서 가장 중요한 과정 중 하나이다. 금속강선은 종양 오

염을 방지하기 위해 계획된 절제면 밖에 위치시켜야만 한다. 또한 시상면, 관상면, 횡단면 모두에서 관심부위(Region of Interest)를 포함하도록 위치시켜야 한다. 금속강선이 관심부위의 한 쪽에 치우치게 위치하면 navigation 상에 나타나는 registration 오차보다 실제 오차는 커지게 된다(Fig. 1). 종양이 뼈의 말단에 위치한 경우에는 금속강선을 관심부위 모두가 포함되게 위치시키기 불가능할 수 있다. 이 때는 실제 navigation 오차가 registration 오차보다 커질 수 있음을 염두에 두어야 한다. 피부

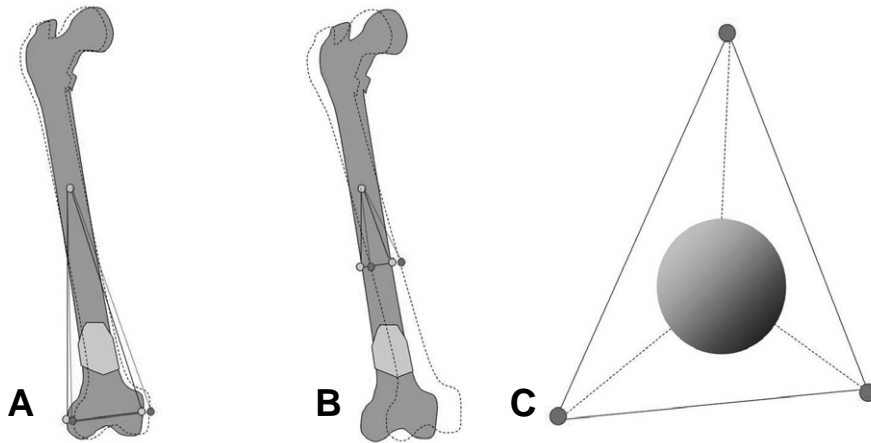


Fig. 1. Registration error is not the same as navigation error. When fiducials are concentrically located around the tumor, navigation errors at the area of concern are largely due to registration errors (A). However, if fiducials are eccentrically located, navigation error is greater than the registration error (B). Theoretically, at least four wires are necessary to concentrically locate fiducials in all planes (C).

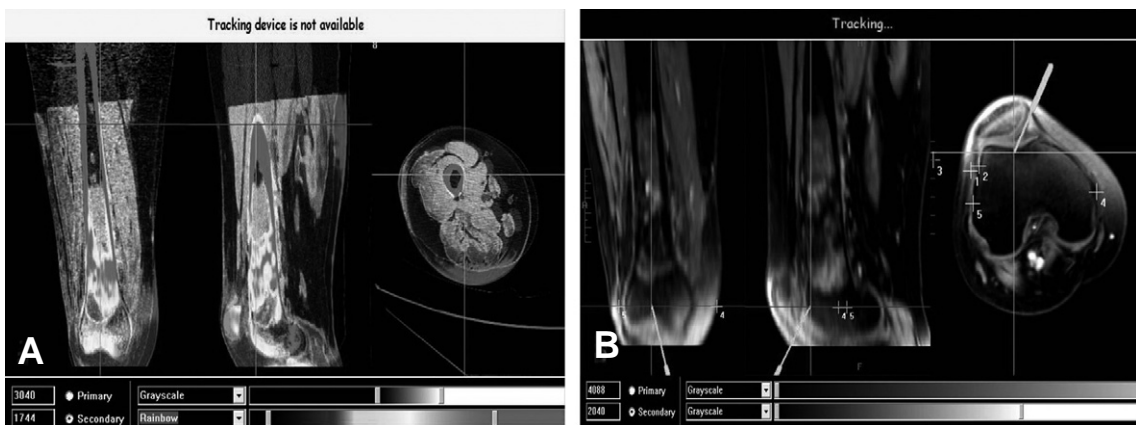


Fig. 2. Fusion software performed the image-to-image registration between CT and re-sliced MR images (A). Distal femoral osteotomy was monitored under MR image-based navigation guidance (B).

와 뼈 사이의 거리가 멀지 않은 곳을 선정하여 수술 시에 강선을 찾을 때 피부절개를 최소한 하도록 하는 것이 바람직하고 되도록 관절 속에 위치하지 않도록 한다.

2) Image fusion

영상통합(image fusion)을 통하여 CT 영상 이외의 영상을 수술 시 guide로 사용할 수 있다. MRI 혹은 PET-CT 등이 주로 이용된다. 이러한 영상은 금속강선 삽입 전에 얻어야 간섭현상을 피할 수 있다. PET-CT의 이용은 종양의 활성도를 잘 반영하여 특히 종양의 재발 등에서 유용할 수 있다. MRI는 CT보다 종양의 골수 내 범위를 잘 반영하고 신경혈관다발과의 관계를 잘 보여주어 CT-MRI 영상통합이 매우 유용하다(Fig. 2). 그러나, 영상통합(image fusion) 과정은 image-to-image registration으로 patient-to-image registration 시에 발생하는 registration error 이외에 추가의 registration error를 필수적으로 동반한다. 영상통합과정에서 발생하는 registration error가 많게는 6mm까지 보고되고 있다^{8,9)}. 영상통합에서 발생하는 image-to-image registration error는 navigation 기계 상에 나타나지 않는다. 따라서 영상통합을 이용할 경우에는 실제 navigation error가 patient-to-image registration error보다 클 수 있음을 염두에 두어야 한다. 또 하나 염두에 두어야 될 사항은 영상통합에 이용되는 영상은 영상데이터를 재조합하여 CT 영상에 맞추어 다시 slice를 만듦으로 영상의 해상도가 떨어질 수 있다³⁾.

3) Pelvic ring osteotomy

Navigation의 사용은 골반골과 같이 해부학적 구조가 복잡한 뼈에서 매우 유용하다. 특히 비구 주위에 종양이 발생하였을 경우 고관절 보존이 가능할 수도 있어 기능에 큰 손상없이 종양을 제거할 수 있다. 그러나, 골반골은 좌우 골반골과 천골이 합쳐져 하나의 고리 구조로 되어 있기 때문에 한 곳에 파손이 일어나면 원래의 고리 모양과 다른 변화가 생길 수 있다. 따라서 navigation을 이용한 골반골 절골술을 시행할 때에는 한 곳에 절골술을 시행하면 다른 곳의 절골술 시에는 navigation의 정확도가 유효하지 못할 수 있다는 사실을 염두에 두어야 한다.

따라서 반드시 절골술을 시행하기 전에, 필요한 모든 절골술의 위치와 방향을 모두 표시해 두는 것이 바람직하다. 또한 가장 중요한 절골술을 먼저 시행하는 것이 좋다²⁾.

4) Distal femoral osteotomy

종양이 원위 대퇴골에 있는 경우 navigation을 사용하여 무릎관절을 보존하는 수술을 시행할 때 dynamic reference base (DRB)를 대퇴골 간부에 고정한다. 이러한 경우 두 군데의 절골술 중 원위 절골술을 먼저 시행하여야 한다. 근위 절골술을 먼저 시행하면 원위 절골술 시에 더 이상 navigation을 이용할 수 없기 때문이다. 그러나 근위 절골술을 시행하지 않고 원위 절골술을 시행하게 되면 기술적으로 어려울 뿐 만 아니라, 슬와동맥의 손상 위험성이 있어 주의를 요한다. 따라서 원위 절골술을 먼저 시행되 완벽히 자르지 않고 후방 피질골은 남겨 놓은 상태까지만 부분 절골술을 시행하고 근위 절골술을 시행한 후 슬와동맥과 좌골신경을 박리한 후 원위 절골술을 마무리하는 것이 바람직하다³⁾.

토 의

원발성 악성 골종양 치료의 발전에도 불구하고, 골반골의 악성 골종양은 안전한 골절제연을 얻지 못하는 경우가 많아 여전히 그 치료결과가 좋지 않다. 따라서 navigation을 이용한 수술의 도입은 골반골의 해부학적 복잡성으로 인한 종양의 불완전한 절제를 극복하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다. 뿐만 아니라, 종양이 관절에 가까이 위치하여 기존의 방법으로는 관절을 포함하여 절제하지 않고는 안전한 절제연을 갖기 힘든 경우에도 관절면을 보존하면서 종양을 절제할 수 있도록 도움을 줄 수 있으리라 생각된다. 그러나 navigation을 골종양 수술에 이용하기 위해서는 사용방법에 대한 완벽한 이해와 정확성 뒤에 숨어 있는 오차에 대해 숙지하고 있어야 할 것이다.

REFERENCES

1) Amiot LP, Lang K, Putzier M, Zippel H, Labelle H: Comparative results between conventional and

- computer-assisted pedicle screw installation in the thoracic, lumbar, and sacral spine. *Spine*, 25-5:606-14, 2000.
- 2) **Cho HS, Kang HG, Kim HS, Han I:** Computer-assisted sacral tumor resection. A case report. *J Bone Joint Surg Am*, 90-7:1561-6, 2008.
 - 3) **Cho HS, Oh JH, Han I, Kim HS:** Joint-preserving limb salvage surgery under navigation guidance. *J Surg Oncol*, Epub ahead of print, 2009.
 - 4) **Hart R, Krejzla J, Svab P, Kocis J, Stipcak V:** Outcomes after conventional versus computer-navigated anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 24-5:569-78, 2008.
 - 5) **Hufner T, Kfuri M, Jr., Galanski M, Bastian L, Loss M, Pohlemann T, Krettek C:** New indications for computer-assisted surgery: tumor resection in the pelvis. *Clin Orthop Relat Res*, 426:219-25, 2004.
 - 6) **Jolles BM, Genoud P, Hoffmeyer P:** Computer-assisted cup placement techniques in total hip arthroplasty improve accuracy of placement. *Clin Orthop Relat Res*, 426:174-9, 2004.
 - 7) **Kendoff D, Gardner MJ, Krettek C, Hufner T, Citak M:** Reference markers in computer aided orthopaedic surgery: rotational stability testings and clinical implications. *Arch Orthop Trauma Surg*, 128-6:633-8, 2008.
 - 8) **Pappas IP, Puja M, Styner M, Liu J, Caversaccio M:** New method to assess the registration of CT-MR images of the head. *Injury*, 35 Suppl 1:S-A105-12, 2004.
 - 9) **West J, Fitzpatrick JM, Wang MY, et al.:** Comparison and evaluation of retrospective inter-modality brain image registration techniques. *J Comput Assist Tomogr*, 21-4:554-66, 1997.
 - 10) **Wong KC, Kumta SM, Antonio GE, Tse LF:** Image fusion for computer-assisted bone tumor surgery. *Clin Orthop Relat Res*, 466-10:2533-41, 2008.
 - 11) **Wong KC, Kumta SM, Chiu KH, Antonio GE, Unwin P, Leung KS:** Precision tumour resection and reconstruction using image-guided computer navigation. *J Bone Joint Surg Br*, 89-7:943-7, 2007.
 - 12) **Wong KC, Kumta SM, Chiu KH, Cheung KW, Leung KS, Unwin P, Wong MC:** Computer assisted pelvic tumor resection and reconstruction with a custom-made prosthesis using an innovative adaptation and its validation. *Comput Aided Surg*, 12-4:225-32, 2007.

Abstract

Computer-Assisted Orthopaedic Surgery in Bone Tumor

Hwan Seong Cho, M.D., Il-Hyung Park, M.D., Jong-Uk Mun, M.D., Han-Soo Kim, M.D.*

*Department of Orthopaedic Surgery, Kyungpook National University Hospital College of Medicine
Department of Orthopaedic Surgery, Seoul National University Hospital College of Medicine**

The usefulness and accuracy of computer-assisted surgery have been evaluated clinically in many orthopedic fields, such as, joint replacement arthroplasty, cruciate ligament reconstruction, and pedicle screw placement. Recently several preliminary reports have been issued on the application of navigation to bone tumor surgery. The main advantage of navigation-assisted bone tumor surgery is that it provides highly accurate three-dimensional radiological information for intraoperative guidance. In particular, distances from tumors to resection margins can be precisely determined using intraoperative three-dimensional images. Accordingly, the technique allows preservation of function to be maximized by minimizing unnecessary resection. However, surgeons should recognize that the accuracies of navigation systems in bone tumor surgery have some hidden pitfalls. Here, based on our clinical results, we describe the surgical techniques used and include some cautionary notes.

Address reprint requests to

Hwan Seong Cho, M.D.
Department of Orthopaedic Surgery, Kyungpook National University College of Medicine
200 Dongduk-Ro, Jung-Gu, Daegu, Korea
TEL: 82-53-420-6322, FAX: 82-53-422-6605, E-mail: mdchs111@snu.ac.kr