

척추경 나사 삽입술을 위한 환자 맞춤형 도구 기반 수술 내비게이션

이성풍¹, 남경협², 정덕기¹, 전상서¹, 한인호², 홍재성^{1†}

¹대구경북과학기술원 대학원 로봇공학전공

²부산대학교병원 신경외과

jhong@dgist.ac.kr

요약: 본 연구에서는 척추경 나사 삽입술을 위한 환자 맞춤형 도구 (Patient specific instrument)기반의 수술 내비게이션 시스템을 제안한다. 제안된 방법은 수술 전 환자-영상 정합을 통해 수술 중 정합 시간을 상당히 단축할 수 있고, 환자 맞춤형 도구만을 사용했을 때 나사의 진입점 고려로 인해 발생하는 설계의 어려움을 줄일 수 있다. 한 구의 사체실험에서 제안된 방법을 이용하여 18개의 척추경 나사를 흉요추에 삽입하였고 수술 후 영상을 통해 제안된 방법을 평가하였다.

핵심어: 환자 맞춤형 도구, 3차원 프린팅, 수술 내비게이션, 척추경 나사 삽입술

1. 서론

척추경 나사 삽입술은 흉요추에서 다양한 척추 장애 치료를 위해 나사를 척추경에 삽입하는 수술이다. 척추경 나사의 잘못된 삽입은 혈관손상, 신경학적 손상, 경막 파열, 척추경의 균열을 야기할 수 있다 [1]. 따라서, 척추경 나사를 정확하게 삽입하기 위한 다양한 방법들이 연구되어왔다. 보편적인 방법으로는 주변의 해부학적 특징을 이용하거나 촉진을 통해 나사를 삽입하는 방법이다. 이는 수술자의 경험에 의존적이고 숙련된 수술자 역시 척추경 나사를 안전하게 삽입하는 것이 쉽지 않다는 단점이 있다. 수술 중 영상인 C-arm 영상을 이용하는 방법은 2차원 영상정보의 한계를 가지고 있고, 수술 전 영상인 Computerized tomography (CT)기반의 수술 내비게이션은 3차원 영상정보를 제공하나 수술 중 환자-영상 정합 과정이 요구된다. 또한 수술 전 영상 촬영 시 환자의 자세와 수술 중 자세가 다르기 때문에 수술 중의 척추들이 이루고 있는 형태가 수술 전과 다르다. 따라서 정확한 영상정보를 취득하기 위해 각 척추마다 환자-영상 정합을 진행해야 하는 번거로움을 갖고 있다. 최근 3차원 프린팅 기술의 발전으로 환자 맞춤형 도구를 설계 및 제작하여 척추경 나사 삽입술에 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다 [2]. 이 방법은 환자-영상 정합과정 없이 정확한 나사 삽입이 가능하나 척추경 나사 삽입에 있어 실시간 피드백을 받지 못하고 진입점 고려로 인한 설계의 어려움이 발생하는 문제가 있다.

본 연구에서는 환자 맞춤형 도구를 이용하여 수술 내비게이션을 운용하여, 설계 구조의 복잡성을 줄이고 실시간 피드백을 제공할 수 있는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 한 구의 사체실험을 통해 유용성을 입증하였다.

2. 방법론

한 구의 사체에 대해 CT 촬영을 하였고, 이를 이용하여 척추의 전체 형상 모델을 만들었다. 만들어진 척추 모델을 기반으로 1번 흉추 (T1)부터 5번 요추 (L5)까지 흡수 번의 척추들에 대해 환자 맞춤형 도구를 다음을 고려하여 설계하였다 (그림 1-1). 수술 중 극돌기 표면에 맞춰지도록 환자 맞춤형 도구의 안쪽 부분을 설계하였고 (그림 1-2), 3차원 프린터의 오차와 극돌기 주변 연조직들에 의해 환자 맞춤형 도구가 표면에 맞지 않을 경우를 고려하여 환자 맞춤형 도구를 두 부분으로 나누고 볼트와 너트로 이를 결합하도록 설계하였으며 (그림 1-2), 수술 전 환자-영상 정합을 위해 위치 추적용 마커를 설치할 수 있도록 설계하였다. 설계된 환자 맞춤형 도구는 3차원 프린터를 통해 VeroWhite 재료로 인쇄되었다. 인쇄된 환자 맞춤형 도구에 길이 15cm, 직경 4mm의 실린더를 설치하였고 실린더 끝에 위치 추적용 마커를 설치하였다 (그림 1-3). 위치 추적용 마커를 기준으로 환자

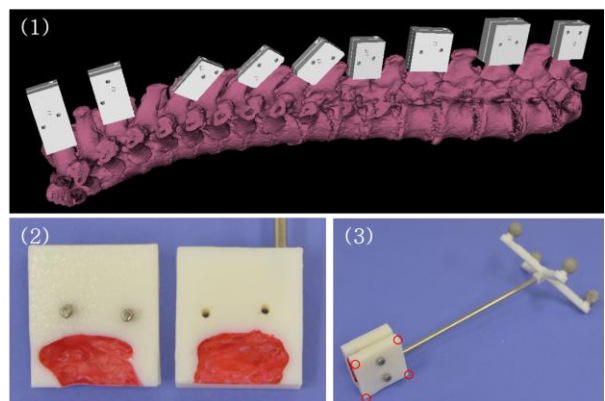


그림 1. (1) 환자 맞춤형 도구 설계, (2) 내부 모습 (빨간색은 극돌기 표면에 닿는 부분), (3) 완성된 환자 맞춤형 도구와 환자-영상 정합시 사용된 4개의 특징점 (빨간색 원)

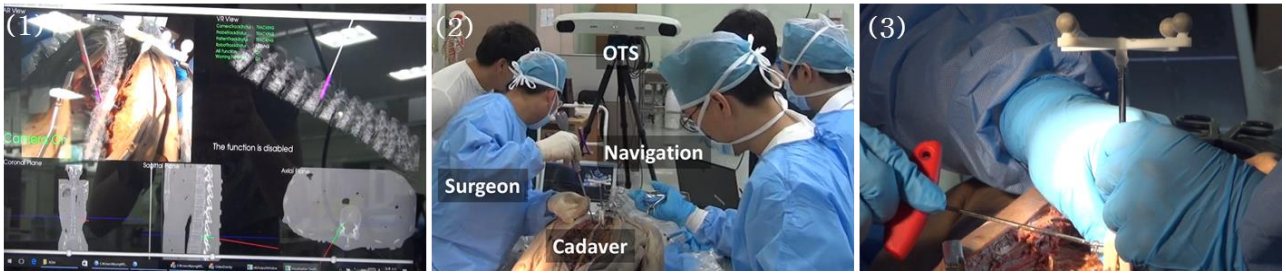


그림 2. (1) 자체 개발된 수술 내비게이션, (2) 사체실험 환경, (3) 환자 맞춤형 도구를 설치하는 모습

맞춤형 도구의 4개의 특징점을 이용하여 환자-영상 정합을 사체 실험 전에 수행하였다. 9개의 환자 맞춤형 도구들의 수술 전 환자-영상 정합 결과는 평균 <math>< 1\text{ mm}</math> (Fiducial registration error)의 오차를 보였다.

자체 개발된 수술 내비게이션은 5개의 분할된 화면들을 제공한다 (그림 2-1). 상단의 2개의 화면들은 각각 증강현실과 가상현실 화면이다. 본 실험에서는 두 화면상에 척추의 전체 형상만을 시각화하였다. 하단의 3개의 화면들은 CT영상의 각 단면 (횡단, 시상, 관상면)을 보여준다. 사용자 인터페이스를 통해 척추경 나사 길이와 너비가 입력되고 각 단면 영상 상에 수술 도구와 나사의 자세가 투영되어 표시된다.

사체 실험은 부산대학교병원 해부학 실습실에서 진행되었다 (그림 2-2). 제안된 방법을 이용하여 척추경 나사를 삽입하기 위한 절차는 다음과 같다. 환자 맞춤형 도구를 대응하는 극돌기 표면에 설치 (그림 2-3), Awl을 사용하여 진입점과 척추경 나사의 직경을 결정, Depth Gauge를 사용하여 척추경 나사의 깊이를 결정, Screw Tap을 사용하여 나사산을 생성, 마지막으로 Screw Driver를 사용하여 나사산을 따라 척추경 나사를 삽입한다. 수술자는 모든 절차에서 수술 내비게이션의 정보에만 의존하였다. 상기 명시된 수술도구들과 나사는 Medtronic사의 제품을 사용하였다. 척추경 나사 삽입 후, 평가를 위해 수술 후 CT를 촬영하였고 전문의의 분석에 따라 횡단면과 시상면에 대해 삽입된 척추경 나사의 관통 정도를 확인하였다.

3. 결과

척추경 나사의 관통 정도는 다음의 기준으로 분류되었다: Grade0 (관통 없음), Grade1 (<math>< 2\text{mm}</math> 관통), Grade2 (2~4mm 관통), Grade3 (>4mm 관통). 각 단면 별로 18개의 척추경 나사에 대해서 Grade2 이상은 확인되지 않았다. 횡단면에서 Grade0은 16개

표 1 척추경 나사 삽입의 수술 후 영상 분석 결과

Grade	0	1	2	3
횡단면 ^{R*}	8	1	0	0
시상면 ^{R*}	4	5	0	0
횡단면 ^{L*}	8	1	0	0
시상면 ^{L*}	6	3	0	0

*R과 L은 각각 우측과 좌측을 나타낸다.

와 Grade1은 2개 (<math>< 1\text{mm}</math>), 시상면에서 Grade0은 10개와 Grade1은 8개 (<math>< 1\text{mm}</math>)로 확인되었다. 수술 중 환자 맞춤형 도구를 대응하는 극돌기 표면에 설치하는 작업은 1분 미만의 시간이 소요되었다.

4. 결론

평가결과로부터 횡단과 시상면에서의 차이는 두 가지의 이유로 설명될 수 있다. 첫째는 환자 맞춤형 도구를 대응하는 극돌기 표면에 정확하게 설치를 못했을 경우이고 둘째는 환자 맞춤형 도구에 부착된 위치 추적용 마커의 방향이 최적화가 안됐을 경우이다. 이 두 가지 경우는 수술 중 두 단면 상의 정보가 다른 정확도를 갖게 할 수 있다. 이 두 가지의 문제점들을 보완하는 것은 본 연구의 추후 과제로 남아있다. 이러한 문제점에도 불구하고 제안된 방법은 상당한 안정성을 보였다. 또한 수술 내비게이션 운용에 있어 상당히 간편하기 때문에 실용성이 클 것으로 예상된다.

사사

본 연구는 산업자원통상부 산업핵심기술개발사업 (10063309)과 보건복지부 질환극복기술개발사업 (HI13C1634)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] S. Patil, E. M. Lindley, E. L. Burger, H. Yoshihara, and V. V. Patel, "Pedicle screw placement with O-arm and stealth navigation," *Orthopedics*, vol. 35, pp. e61-e65, 2012.
- [2] T. Sugawara, N. Higashiyama, S. Kaneyama, M. Takabatake, N. Watanabe, F. Uchida, *et al.*, "Multistep pedicle screw insertion procedure with patient-specific lamina fit-and-lock templates for the thoracic spine," *Journal of Neurosurgery: Spine*, vol. 19, pp. 185-190, 2013.