

수술을 위한 CAD/CAM: CIS (Computer-Integrated Surgery)

글 _ 정연찬 _ 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과 _ ychung@seoultech.ac.kr

1. 서론

의공학(medical engineering), 생명공학(bioengineering), 생명의료공학(biomedical engineering), 재활공학(rehabilitation engineering), 생체공학(bionics, biomimetics), 생물정보학(bioinformatics), 바이오메카트로닉스(biomechatronics) 등등 의학과 공학을 융합한 많은 용어가 등장하고 있다. 정부의 융합기술과 의료 산업 활성화 정책에 힘입어 공학과 의학 분야의 융합이 다양한 방향으로 매우 활발하게 진행 중이다. 그 성과로 신문과 방송에서는 수술을 하거나 환자를 돌보는 로봇 개발에 성공했다는 기사가 자주 등장한다. 마이크로 로봇이 몸 안을 다니면서 종양을 제거하고, 간호 로봇은 환자의 혈압을 재고 식판을 날라 주기도 한다. 미래 의료 서비스가 눈앞에 펼쳐지고 있다.

이미 오래전부터 공학의 다양한 분야가 의학과 활발히 융합하면서 많은 성과를 내고 있다. 생체역학(biomechanics)에서는 인체의 관절, 근육, 골격의 기능을 기계역학으로 분석하고 있다. 의료 진단과 처치에 사용되는 수많은 기구와 장비들은 다양한 공학의 산물이다. 최근에 언론에 자주 등장하는 수술 로봇과 재활 로봇 등은 공학과 의학을 결합한 융합 기술의 대표적인 산물이라 할 수 있다. 병원에서 사용되는 복잡한 의료 정보 시스템도 의학과 공학의 융합 결과물이다. 기계공학의 세부 분야인 CAD/CAM 관련 기술도 의

학과와 융합에 다양한 시도를 하고 있다. 이 글은 미국 존스홉킨스대학(The Johns Hopkins University) CISST 연구센터(Engineering Research Center for Computer Integrated Surgical Systems and Technology)의 비전과 연구 현황 소개를 통해 광범위하게 진행되는 의학과 공학의 융합에 전통적인 CAD/CAM 연구자가 기여할 방향을 모색하고자 한다.

2. CIS (Computer-Integrated Surgery)

CAD/CAM과 의학의 융합 방향은 미국 존스홉킨스대학의 Russel H. Taylor 교수가 주창한 CIS (Computer-Integrated Surgery, 컴퓨터 통합 수술)에서 살펴볼 수 있다. Taylor 교수의 CIS 관련 기술은 CAD/CAM의 외과수술버전(surgical version)으로 완전한 ~~상사~~ analogy) 기술이라 생각된다. Taylor 교수는 같은 연구팀의 핵심 연구원인 Peter Kazanzides 교수와 70년대 말부터 90년대 중반까지 IBM에서 로봇과 자동화 기술 개발 부서에서 함께 근무하면서 의료용 로봇과 기기들을 개발하였다. 그 당시는 IBM이 제조 산업의 정보화로 CAD/CAM, CIM (Computer-Integrated Manufacturing) 등을 역설할 때이다. 따라서 Taylor 교수는 자연스럽게 제조 산업의 비전을 의학에 접목했을 것으로 생각된다. Taylor 교수는 "지난 20여 년 동안 CIM 시스템과 관련 기술이 제조 산업에 미친 영향력과 마찬가지로

CIS 시스템과 관련 기술이 의료계에 끼칠 영향력은 매우 클 것"이라고 예측했다. Taylor 교수가 언급한 CIM 시스템과 관련 기술은 CAD/CAM 기술로 이해할 수 있다.

Fig. 1과 Fig. 2는 Taylor 교수가 총괄하는 CISST 연구 센터의 소개 자료에서 발췌한 것이며, CIS 시스템의 정보 흐름을 알 수 있다. Fig. 2에서 CIS 시스템은 Surgical CAD, Surgical CAM, Surgical TQM의 세 분야로 구성됨을 알 수 있다. Surgical CAD는 수술 준비 단계를 지원한다. 표준 정보(atlas, feature)에 특정 환자의 개인 정보(parameter)를 대입하면 해당 환자의 구체적인 모델(instance)을 생성할 수 있다. 환자 모델에 기초해서 수술을 설계(계획을 세움)한다. Surgical CAM은 수립된 수술계획을 수술실에서 실행한다. 수술 중에 얻어진 정보로 모델과 계획을 수정하면서 컴퓨터로 다양한 기기를 제어하고 실행한다. Surgical TQM(total quality management)은 수술 결과를 평가하고 평가 결과의 피드백을 통해 표준 정보를 수정하고 지식을 축적한다.

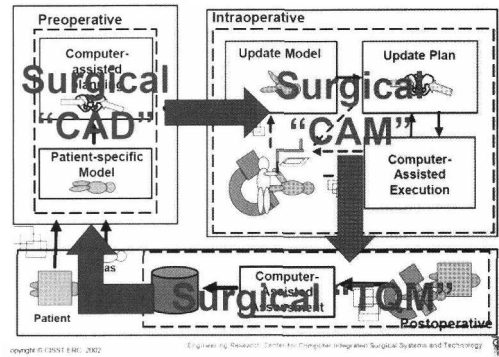


그림 2. Analogy with CAD/CAM[1]

3. Surgical CAD

제조 산업에서 CAD (mechanical CAD)의 대표적인 기능은 형상(geometry)의 모델링이며, 형상 모델링의 궁극적인 목표는 의사소통이라 할 수 있다. 형상 모델을 통해 어떤 형상을 제조하는지 서로 의사소통할 수 있다. 효과적인 형상 모델링을 위해 그동안의 CAD/CAM 연구자들은 솔리드 모델링과 특징형상 모델링(feature modeling), 파라메트릭 모델링 등의 기술을 개발, 발전시켜왔다. 여러 가지 세부적인 기술의 차이는 있겠지만 surgical CAD를 mechanical CAD의 상사 기술로 단순화하면 외과 수술에서 CAD 기술의 역할을 명확히 알 수 있다. CAD의 대표적 기술인 형상 모델링 기술의 surgical CAD 버전이 필요하다고 볼 수 있다. 먼저 인체를 표현할 수 있는 형상 모델의 연구와 개발이 필요하다. 인체는 기계와 달리 강체(rigid body)가 아니라 변형체(deformable body)이며 밀도 분포가 매우 다양하고 형상의 경계도 불분명하다. 많은 연구자들이 변형체 모델을 연구하고 있지만 아직 인체 형상의 다양한 특성을 표현하기에는 어려움이 있다. 국내 CAD/CAM 연구자들의 활발한 연구를 통해 인체 형상을 표현할 수 있는 형상 모델이 곧 개발되기를 기대한다. 두 번째로 인체의 특징형상에 해당하는 장기(organ)의 파라메트릭 모델링이 중요한 연구과

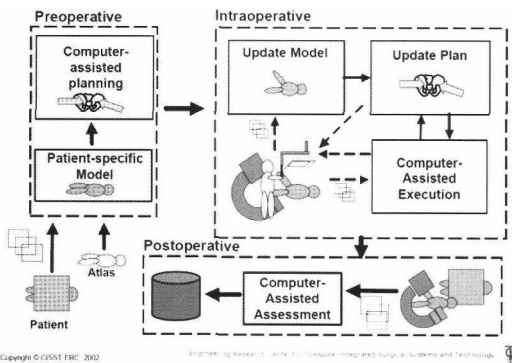


그림 1. Information flow of CIS systems[1]

제다. 존스홉킨스대학의 CISST 연구소에서는 골반 뼈의 통계적 형상을 구축하고 있다. 골반 뼈가 손상되었거나 형상 정보가 부족한 X-ray 사진이 주어진 경우 구축된 통계적 형상을 이용해서 완전한 골반뼈의 3차원 형상을 유추하는 연구를 진행하고 있다. 얻어진 3차원 형상은 수술의 계획과 실행에 사용할 수 있다. Fig. 3은 반복적 방법으로 통계 형상(statistical atlas)을 생성하는 절차를 나타낸다. 고가의 CT (computed tomography) 혹은 MRI (magnetic resonance imaging) 장비를 사용해도 얻어진 장기 형상에 유익한 정보를 담기 위해서는 전문 인력의 많은 시간과 노력이 필요하다. 몇 장의 X-ray 사진 혹은 초음파 영상을 파라미터로 사용해서 충실한 환자 장기 모델을 쉽게 모델링할 수 있다면 매우 좋은 surgical CAD가 될 것으로 생각된다.

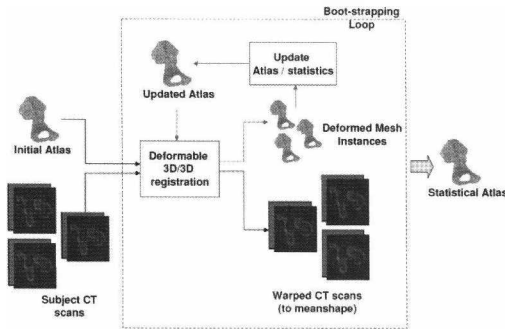


그림 3. Statistical atlas creation process[2]

4. Surgical CAM

제조 산업에서 CAM의 주요 연구 분야는 CNC 기계로 자유 곡면을 절삭 가공하기 위한 공구 경로 생성이었다. 최근에는 engineering simulation (혹은 digital manufacturing)을 통한 제조 공정 설계와 타당성 검토가 중요한 기술로 자리 잡았다. Surgical CAM에서도 제조 산업과 유사한 문제들이 있는데 크게 나누면 공구경로생성 및 로봇(CNC) 제어, 환자와 기기의 셋업, 수술공정계획 등이다. 공구경로생성 및 로봇제어

기술은 이미 인공 관절 수술과 같은 정형외과 수술에 사용되고 있다. 절삭 가공이란 측면에서 제조 산업에서 획득한 유사 기술의 접목이 가능한 부분도 있지만 인체 혹은 외과 수술의 특성은 일반적인 공작물 가공과 매우 다르다. 특히 수술은 사소한 실수도 치명적인 결과를 초래하기 때문에 기술의 보급에는 많은 장애 요소가 있으며 지속적인 연구개발이 필요한 분야다. Mechanical CAM에서는 피삭재의 형상과 최종 목표 형상이 고정되어있고 피삭재의 재질도 일정하다. Surgical CAM에서는 초기 형상은 물론이고 최종적인 목표 형상도 수술 중에 수정될 수 있다. 또 재질의 강도, 경도, 밀도 등이 고르지 않고 환자에 따라 상이해서 절삭 조건 등도 수시로 조절하는 것이 필요하다. 경우에 따라 사람(의료진)의 개입을 허용하거나 사람과 적극적으로 협력할 수 있는 방안을 모색해야한다. 그리고 자동화(puterized) 수술 기기를 사용하기 위해서는 환자와 수술 기기의 셋업이 필수적이다. 수술 실에는 다양한 측정 장비와 시술 장비가 사용되기 때문에 각각의 장비와 환자를 하나의 좌표계로 일치하는 것은 매우 복잡한 문제이면서 중요한 문제다. 끝으로 수술공정계획은 최근의 제조 산업에서 널리 쓰이는 digital manufacturing 혹은 engineering simulation을 통한 공정설계와 유사하다. 국내에서는 다양한 용도의 수술 시뮬레이션 기술이 개발되었거나 개발되고 있다. 존스홉킨스대학의 CISST 연구센터에서는 수술 공정기술의 비전을 다음과 같은 4가지 조건을 갖춘 최소침습중재술(minimally invasive interventional procedure, 절개를 최소화하는 처치법)로 제시하고 있다.

- 인체 어느 곳이나 행할 수 있어야한다.
- 환자의 상태와 무관하게 행할 수 있어야한다.
- 현재의 외래 환자 진단과 같이 간편히 행할 수 있어야한다.
- 완전히 통합되고 최적화된 계획과 실행, 평가가 이루어져야한다.

5. Surgical TQM

Taylor 교수가 주창한 CIS에서 surgical TQM은 최근 용어로 수정하자면 surgical PLM (patient lifecycle management)이 적절하겠다. 사실 이 부분은 Taylor 교수도 아직 관심을 덜 기울인 분야로 생각된다. 하지만 CIS의 전체적인 시스템 비전을 정립한다는 측면에서는 매우 중요한 연구 분야다. 환자의 진단과 수술 계획, 시술 그리고 최종적인 회복과 재활까지를 잇는 환자 치료의 모든 공정(patient lifecycle)과 데이터를 시스템적으로 관리해야 한다. 환자와 관계된 모든 의료진과 의료장비, 의료 시스템, 그리고 환자에게서 얻어진 다양한 데이터와 정보를 통합하는 시스템이 필요하다.

6. 융합의 장벽

존스홉킨스대학의 CISST 연구센터에서는 의학과 공학의 융합 기술 개발에 방해 요인으로 네 가지를 지적한다. 기술 혹은 시스템적인 장벽, 그리고 문화적인 장벽, 교육적인 장벽이다. 연구, 개발로 해결해야 할 CIS 관련 기술 혹은 시스템적인 과제들은 다음과 같다.

- * modeling & analysis: segmentation, registration, atlases, optimization, visualization, task characterization 등
- * interface technology: sensing, robotics, human-machine interfaces
- * systems: safety & verifiability, usability & maintainability, performance & validation

문화적인 장벽으로는 임상을 담당하는 의료계와 연구를 담당하는 학술계 그리고 장비의 개발을 담당하는 산업계의 문화적 장벽을 지적하고 있다. 서로 다른 기관과 전문가에게서 서로 다른 내용의 교육을 받는 것을 교육적 장벽으로 지적한다. 이러한 장벽을 허물기 위해 존스홉킨스대학의 CISST 연구센터는 의학과 공학, 과학의 다양한 전문가 집단이 모여서 연구와 교

육을 수행할 수 있는 환경을 구축하였다. 우리나라에서도 최근에 의학과 공학을 융합한 다학제 교육을 위한 학과가 개설되거나 융합기술을 표방하는 연구소가 설립되고 있다. 조만간 좋은 성과가 있으리라 생각된다.

7. 맺음말

존스홉킨스대학의 CISST 연구센터의 CIS 관련 연구 비전과 활동을 살펴보면 CAD/CAM 관련 연구 방향을 모색하였다. 의학과 공학의 융합이 받고 있는 주목에 비하면 외과 수술을 비롯한 의료계 전반적인 분야에서 CAD/CAM 관련 기술의 융합 방향성이 뚜렷하지 않다. 치과에 적용되는 일부 기술과 수술로봇, 수술 혹은 장기 시뮬레이션 등의 요소 기술은 활발히 연구되고 있다. 요소 기술의 융합과 개발도 필요하지만 좀 더 장기적이고 큰 비전을 세우는 것이 필요하겠다. 외과 수술에서 인간의 한계를 뛰어 넘는 새로운 가능성을 제공하고, 수술의 성공률과 일관성을 향상하고, 더 저렴한 수술 방법과 더 나은 수술 결과를 촉진하는 CIS 시스템을 기대해본다.

이 글의 많은 부분은 미국 존스홉킨스대학의 CISST 연구센터의 자료를 토대로 했음을 밝힙니다. 그리고 저자의 미흡한 지식과 좁은 시각으로 인해 잘못된 견해와 주장이 있을 수 있습니다. 모든 잘못된 내용은 저자에게 그 책임이 있습니다.

참고문헌

1. Russell H. Taylor, "Medical Robotics in Computer-Integrated Surgery," IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 19, No. 5, pp. 765-781, 2003
2. Gouthami Chintalapani, Lotta M. Ellingsen, Ofri Sadowsky, Jerry L. Prince, and Russell H. Taylor, "Statistical Atlases of Bone Anatomy: Construction, Iterative Improvement and Validation," MICCAI 2007, Part 1, LNCS 4791, pp. 499-506, 2007