

인체 디콰데이터로부터 생성되는 휴먼 모델과 메디컬트윈 응용 연구

윤석일*

*국립한밭대학교

e-mail : mecha722@hanbat.ac.kr

Research of medical twins application and human model generated from dicom data of real human body

Seok-II Yoon*

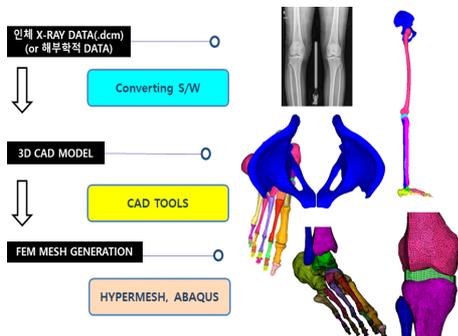
*Hanbat National University

요 약

본 연구는 인체 형상과 생체 재료 속성을 모두 포함하는 완전한 메디컬트윈에 대한 연구 결과이다. 환자의 디콰데이터로부터 생성되는 휴먼모델 개발 및 환자용 메디컬트윈 개발·응용 연구를 수행하였다. 기존에 연구한 기하학적 메디컬트윈에서 인체의 생체 재료의 물성학적 적합성을 동시에 확보한 완전한 메디컬트윈 개발 성과를 도출하였다. 의료계에서 사용되는 CT·MRI 이미지는 컴퓨터에 수록하여 압축, 보관, 재현, 변형을 하여 원하는 영상을 자유 자재로 재구성하고 있어 진단의 정확성을 높이고, 진료시간 단축과 고품질의 의료서비스 향상에 일조하고 있다. 본 연구는 환자 즉 인체의 휴먼 모델을 디지털 공간상에 구현하고, 이를 메디컬트윈화하여 가상수술, 환자 모의 시술, 증강현실가이드를 실제 의료 현장에 적용하기 위한 기초 연구이다. 구체적으로는 환자의 CT·MRI 디콰데이터를 변환하여 3차원 형상 즉 휴먼모델로 구현하며, 휴먼모델의 이미지 왜곡 현상, 기관들의 경계에서의 깨짐 현상을 해결하기 위해서, 3차원 부분 분할, 필터링알고리즘을 개발·적용하였다. 또한 기관별 하운스필드 유닛의 세그멘테이션, 마스크기법, 하운스필드 미세 필터링기능등을 적용하였다. 인체로부터 변환된 휴먼모델로부터 인공관절 가상수술 메디컬트윈모델을 개발하였고, 이 메디컬트윈은 인공관절의 세부 디자인이 포함되어 있다. 인체 Femur·Tibia 형상에 맞도록 최적화된 디자인이 구현되었고, 특히 인체 뼈의 물성적 속성변화를 인체의 3차원 형상과 메디컬트윈으로 함께 구현하여 정확한 수술 시뮬레이션 효과를 기대할 수 있다. 인공관절은 3차원 형상데이터로 3D프린팅으로 시제품을 제작하여 부품을 검증하였다. 본 연구의 완전한 메디컬트윈은 근골격계에 대한 정확한 트윈화를 통해 가상 수술시뮬레이션, 내부 손상장기의 수술 후 장기 경시 변화와 내구 특성의 예측을 가능케 하며, 이를 통한 향후 인공관절, 인공뼈의 수술가이드와 수술 전후에 대한 다양한 의료데이터를 환자와 의사에게 모두 제공이 가능할 것이다.

1. 연구 개요

본 연구는 최근 바이오메디컬용 디지털트윈기술에 대한 수요 증가에 따른 인체 장기 모델의 심층 연구와 인체 형상과 생체 재료 속성을 모두 포함하는 완전한 메디컬트윈에 대한 연구 결과이다. 디지털전환시대에 맞추어 국내 보건복지부는 2026년까지 의료 예측 기술 개발과 한국인에 특화된 신체·장기 트윈을 빌드하여 디지털 공간서 치료를 가능하게 하는 시뮬레이션 시스템을 구축하는 계획을 갖고 있다.



[그림 1] 디지털트윈의 인체 적용 분야의 방법론

이와 같은 신체장기의 디지털트윈에 대한 연구는 최근 활발하게 진행되고 있으며, 인체 해부학적 데이터로부터 휴먼 디지털트윈을 구성하고 HTO(High-Tibial Osteotomy) 수술에 대한 최적 위치와 수술 후의 Tibia와 임플란트에서의 응력 집중에 연구가 수행된 사례가 있다.[1,2]

현재 전산화단층촬영(Computed Tomography, CT)에서 사용하는 디지털영상은 컴퓨터에 수록 압축, 보관, 재현, 변형을 하여 원하는 영상을 자유 자재로 재구성하고 있어 진단의 정확성을 높이고, 진료시간 단축 효과와 의료서비스 향상에 일조하고 있다. 또한, 자기공명영상(MRI)은 신경계의 질환 뿐만 아니라 복부와 골반의 질환에도 유용하게 이용되고 있다. 이와 같은 의료 이미징 기술은 환자 진료 개선이라는 목적 하에 지속 적으로 발전하고 있다. 의료계에서 사용되는 CT, MRI데이터는 이미지 픽셀로 표현되며, X선이 인체를 투과하면서 발생하는 감쇠율을 Hounsfield Unit(H-U)로 표시한 이미지형태를 갖게 된다. 이와 같은 H-U는 물이 0을 기준으로 -1000 ~ +1000의 Gray Scale으로 병원과 의료계에서 널리 사용되고 있으며 Bone, soft tissue, Lung등의 기관등을 적정

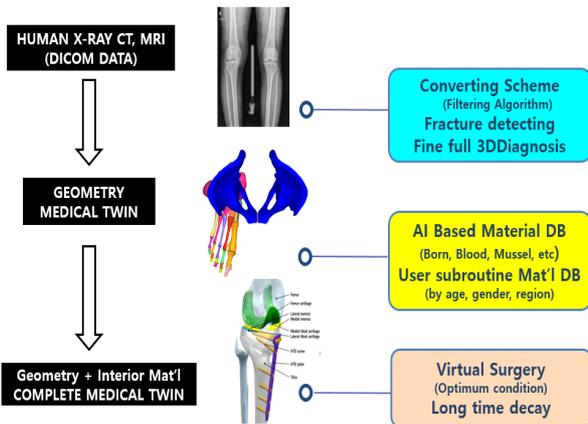
한 수준으로 파악이 가능하다. 하지만 복잡한 신체기관의 중첩, 간섭으로 인한 이미지 왜곡현상, 인체 노화 발생으로 인한 기관내의 하우스필드의 변동성으로 실제 검사, 진단에서 오류가 나올 수 있다.

일반적으로 진단을 위해 촬영된 의료용 영상 이미지에 대해 영상에서 필요한 부분을 디지털 공간상에 3D형상으로 추출 및 변환하는 연구가 진행 중이다.[2] 이를 디지털트윈의 의료용 적용으로 통칭하여 메디컬트윈이라 불리고 있다.[2] 디지털트윈의 기술정보를 이용하여 연구나 진료 및 수술에서 필요한 정보로 가공하여 제공하면 환자에 대한 진단 처치에 보다 효율적으로 접근할 수 있다. 최근의 연구 사례를 보면 미국 조지 워싱턴 대학병원의 가상현실 이미징 기술은 흉부 외과 환자가 참여하며 수술 계획 및 수술 중 시각화를 위한 환자별 360도 가상 현실 이미징 기술을 적용한 사례이다. 또한 존스홉킨스대학에서는 살아있는 환자를 대상으로 세계 최초 증강 현실 수술을 진행 하였다. 즉 신경외과 척추 융합 연구소 수술실에서 증강현실을 사용할 때 GPS 내비게이터가 눈앞에 있는 것처럼 증강현실 수술 가이드 구현하여 환자의 CT스캔을 보기 위해 별도의 화면보조가 불필요하도록 구현한 실증연구가 진행되었다.[2]

2. 연구 목표 & 연구 내용

2.1 연구 목표

본 연구는 디지털트윈의 의료 응용인 메디컬트윈화 개발로 의료 수술에 도움을 줄 수 있는 데이터를 생성하기 위해 시리즈로 촬영된 CT·MRI 디콰데이터를 디지털공간상에 트윈으로 구현하고 이를 가상수술 시뮬레이션, 스마트글라스 활용 확장현실형 수술 응용등에 활용코자 한다. 아울러 의료용 3D 프린터의 대중화로 메디컬트윈의 가상수술용 처치술과 이를 응용한 임플란트를 환자 영상에서 필요한 부분을 실제 모양처럼 출력하고 그 출력물을 가지고 모의 실험과 실제 적용에 활용하고저 한다.



※ COMPLETE MEDICAL TWIN 개발 개념도

[그림 2] 본연구의 디지털 트윈 휴먼모델 구성 방법론

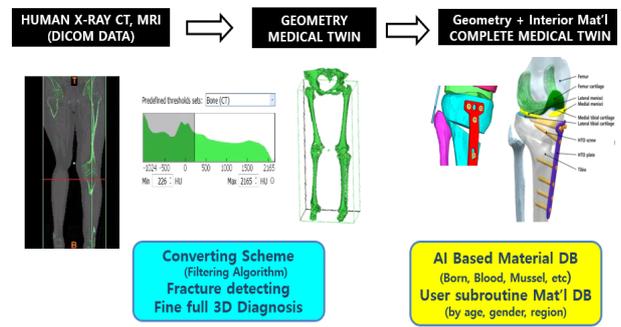
2.2 연구 내용

본 연구에서는 실제 환자의 CT·MRI 디콰데이터를 정교하게 디지털상의 3차원 형상으로 변환시키면서 인체 내부재료의 물성 특성치를 포함하는 완전한 메디컬트윈을 구성코자 한다. 이는 이전의 연구 즉 Geometrical 메디컬트윈에서 진보된 완전한 메디컬트윈(Complete Medical twins)의 연구

목적 달성하기 위한 연장된 연구 수행 결과이다.[2]

본 연구는 2차원 CT 영상을 적층하여 3차원인체 형상을 생성한후 Axial, Coronal, Sagittal의 다양한 위치에서 인체의 기관 분포와 영향도를 확인할 수 있다. 이와 같은 3차원 휴먼 모델은 향후 존스홉킨스대학의 증강현실 수술, 조지워싱턴대학의 가상수술 이미징 기술로 발전시킬 수 있다.

본 연구에서는 CT·MRI 영상이미지의 3차원 형상 개발, 변환을 위한 다양한 기술기법등을 조사하여 본 연구 내용 즉 휴먼모델 생성과 환자의 디지털트윈화에 대한 구체적인 방안을 수립하였다. 본 연구의 결과와 효과는 완전한 메디컬트윈의 개발을 통해 우선 신경근골격계에 대한 정확한 트윈화를 통해 가상 수술시뮬레이션, 내부 손상장기의 수술 후 Long Time 경시 변화와 내구 특성을 사전에 예측이 가능케 되며, 이를 통한 향후 인공 심장, 인공관절등의 수술과 수술 진후에 대한 다양한 의료데이터를 환자와 의사에게 모두 제공이 가능한 서비스의 기대효과를 기대할 수 있다.



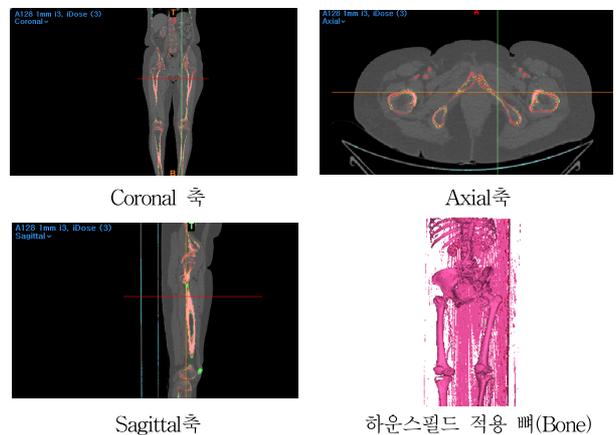
[그림 3] 메디컬트윈 기술의 상세 내용

3. 연구 결과

3.1 인체 휴먼 모델 개발

■ CT·MRI디콰데이터로부터 생성되는 3차원 휴먼모델

인체의 CT·MRI 단면 2차원 영상을 적층하여 Axial, Coronal, Sagittal축을 기반으로 휴먼모델 3D 형상을 변환하였다. 이 경우에 인체 기관들의 부정확한 경계로 인해서 3차원 형상이 깨지는 경우가 발생하며, 이는 각 기관의 하우스필드 유닛의 변동성과 부정합성에서 기인된다. 디콰데이터로부터 생성된 부정확한 경계성을 개선하여 인체의 기관별 표면과 체적 데이터를 추출·생성하도록 하우스필드 미세 필터링 기술과 기관별 세그멘테이션, 마스킹 기법을 적용하였다.



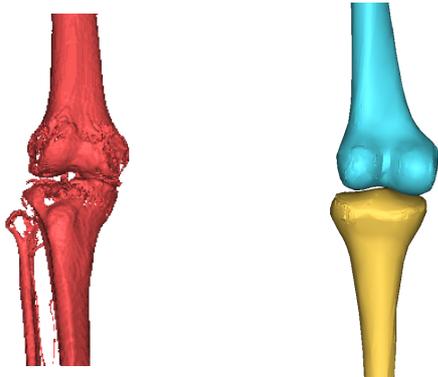
[그림 4] CT Dicom Data와 하우스필드 적용 (Bone)

인체 기관들의 부정확한 경계로 인해서 3차원 형상이 깨진 이미지 왜곡현상(Image distortion)은 환자의 검진, 진단, 정밀 치료시에는 치명적인 오류가 발생할 수 있다. 이와 같은 부정확한 경계선에 대한 이미지 왜곡 처리는 기관 내부의 부분 분할(Segmentation) 기법으로 해결될 수 있다. 또한 이미지 백노이즈 및 블러링 제거를 통해 품질이 좋은 휴먼모델 생성이 가능케 된다.



[그림 5] CT DATA 경계의 부정확성에 의한 Femur-Tibia개집 현상

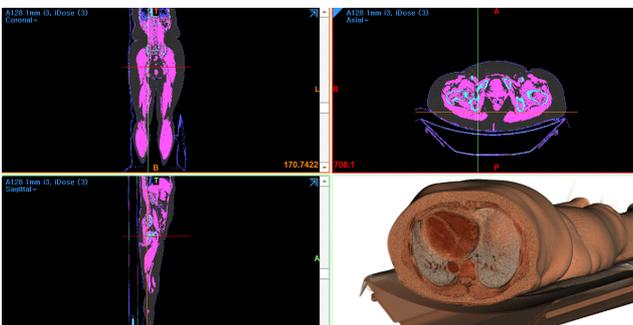
상기와 같은 CT 디콤데이터 변환 시 발생하는 경계의 부정확성에 의해서 Femur와 Tibia에서의 경계의 깨짐 현상이 발생한다. 이와 같은 현상의 원인은 인체의 노화 정도에 따른 동일 기관 즉 뼈(Bone)내에서의 하운스필드의 불균일성에 의한 현상이다. 이를 해결하기 위해서 세그먼트와 부분 마스크 기술을 적용하여 Femur와 Tibia에서의 경계 부정합성을 해결하여 하기에 제시하였다.



[그림 6] 세그먼트와 마스크 기술 적용 Femur와 Tibia부정합성 해결

3.2 휴먼모델의 기관별 필터링 변환 기술 개발

인체 CT기반 볼륨렌더링(Volume Rendering)을 하면 하기와 같이 표현되며, 이는 인체의 여러기관이 한번에 디스플레이 되어서 디지털트윈화 응용에는 제한을 갖게 된다.



[그림 7] 인체의 Volume Rendering 3D 형상 데이터

본 연구에서는 3차원 형상 볼륨 렌더링이 아닌 인체 기관별 부분 변환, 필터링 기능을 적용하여, 인체의 기관, 피부, 뼈, 근육등, 기관별로 별도 휴먼모델의 3D 형상데이터를 구축하였다.

인체 기관별 부분 변환 개발	BONE	
	MUSCLE	
	SOFT SKIN	
[그림 8] 인체의 Volume Rendering 3D 형상 데이터		

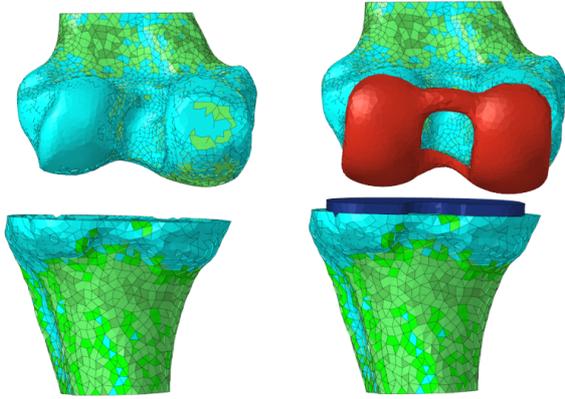
3.3 인공관절 가상수술용 인공관절 디자인 개발

인공관절은 인간 기능 확장을 위한 생체 신호 센서 기반의 내골격 장치 및 통합 시스템 개발의 일환으로 설계와 상품화는 상당한 노력이 필요하다. 해당 내골격 장치는 정상 근력이 손실된 환자에게 인공관절을 대체·이식하여 근육 보조를 하는 것이 목적이다. 이를 위해서는 무릎 관절 기구학 및 동역학이 고려된 구동 메커니즘 설계가 필요하다. 구동 메커니즘을 통해 무릎 거동을 보조하고자 할 때, 구동 메커니즘을 통해 생성되는 움직임과 실제 무릎 관절의 움직임에 차이가 발생한다면 내골격 장치는 물론 내골격 장치와 결합된 뼈에도 지속적인 부하가 걸려 손상될 것이다. 따라서 구동 메커니즘을 통해 생성되는 움직임이 실제 무릎 관절의 움직임과 차이가 없도록 설계와 개발하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 인체 환자의 디콤데이터로부터 정확하게 구현된 휴먼 모델인 Femur와 Tibia로부터 인공관절의 상세한 디자인 개발을 수행하였으며, 그 내용을 그림 9,10에 제시하였다.

3.4 인공관절을 포함한 가상수술용 메디컬 트윈화 개발

인체의 인공관절 모델을 포함하는 가상수술용 메디컬트윈 모델 개발 추진하였다. 인체의 CT 디콤데이터 즉 2차원 단면 데이터의 디지털 변환으로 3차원 형상을 추출하여 휴먼 모델을 생성하였으며, 구체적으로는 2차원 단층 CT 디콤데이터에서 Tibia와 Femur의 3차원 형상 모델을 생성하고, 디지털 트윈화를 위한 생체재료의 위치별 물성치를 포함하도록 완벽한 메디컬트윈을 개발하였다.[3] 이는 인체의 하운스필드유닛 즉 뼈의 골밀도 변화를 형상 위치별로 모두 표현하는 완벽한 메디컬트윈의 개발결과이며, 이에 대한 결과를 그림 9에 제시하였다.

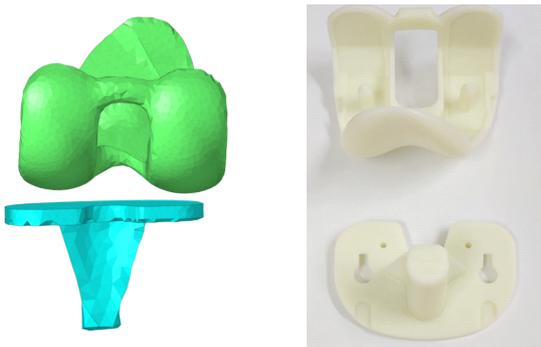


[그림 9] 인공관절 수술의 메디컬 트윈 결과물
(인체 속성재료를 포함한 완벽한 메디컬트윈 개발 결과물
하운스필드 변화에 따른 인체 골밀도의 변화 적용)

개발된 인공관절 수술용 메디컬트윈을 활용하여 의료용 3D 프린터로 시제품 개발을 추진하였다. 최근 3D프린터의 발전은 다양한 임플란트 디자인의 사전 검증이 가능하다.

본 연구에서는 인체의 인공관절 모델을 포함하는 완벽한 메디컬트윈의 개발 결과물을 활용하여 인공관절 디자인에 대한 시제품 개발과 검증을 추진하였다. 설계된 디자인과 제작된 인공관절 시제품을 그림 10에 제시하였다.

이와 같은 결과는 인체의 형상을 정확하게 구현하는 3차원 형상데이터와 생체재료의 위치별 특성치를 모두 구현한 인공관절 수술용 메디컬트윈을 활용한 시제품 검증이며, 이를 통해 향후 의료 가상수술용 메디컬트윈의 활용이 의료계 즉 병원과 의사, 치료를 받는 환자에게 상당한 효과를 줄 것으로 기대된다.



[그림 10] 인공관절 시제품 제작 결과

4. 결론

환자의 디콤데이터로부터 생성되는 휴먼모델 개발 및 이 모델부터 구성되는 메디컬트윈 개발에 대한 연구를 수행하였다. 기존에 연구한 기하학적 메디컬트윈에서 내부재료의 물성학적 정합성을 동시에 확보한 완전한 메디컬트윈 개발로 연구결과와 기대효과를 정리하면 하기와 같다.

- 1) 형상모형과 내부재료를 모사하는 완전한 메디컬트윈의 개발을 성공적으로 수행하였다. 구체적으로는 CT·MRI 디콤 데이터 변환에 의해 인체의 휴먼모델을 3차원 모델로 변환하는 응용기술 개발을 성공적으로 수행하였다.
- 2) 이와 같은 완전한 메디컬트윈중 근골격계에 대한 정확

한 메디컬트윈모델은 가상 수술시뮬레이션, 내부 손상장기의 경시 변화와 예측, 확장현실 수술가이드의 의료현장 적용이 가능케 되며, 이를 통한 향후 인공관절, 인공뼈의 수술 기술과 수술 전후에 대한 다양한 의료데이터를 환자와 의사에게 모두 제공이 가능한 서비스를 구축하는 것이 가능할 것이다.

3) 메디컬 트윈 모델과 가상 수술 시뮬레이션의 결과는 대학과 기업, 병원등의 수요처에 적용 시 파급 효과가 예상되며, 다양한 응용 분야의 사례적용과 임상화 연계로 해당 메디컬트윈의 가치와 효용성은 증가될 것으로 예상된다.

4) 본 연구의 상용화 비즈니스 모델은 글로벌 지역별 메디컬트윈 모델 상용화를 통해 개인 건강 데이터를 기반으로 디지털 공간에 가상 환자를 만들어 치료 효과를 예측하고 최적의 약물 처방의 플랫폼화가 가능하도록 병원과의 협업 체제를 구축하고, 아울러 개발된 메디컬트윈 모델은 3D모델 전용 플랫폼인 sktechfab.com에 온라인 모델로 상용화를 추진할 예정이다.

[감사의 글]

본 연구는 2024년 중소기업부 재원으로 창업진흥원글로벌기업협업 프로그램(20253032)으로 수행되었다.

[참고문헌]

- [1] S.I.Yoon, Finite element analysis of open wedge tibial osteotomy for mechanical behavior investigation, 한국산학기술학회 추계학술대회, 2019
- [2] S.I.Yoon, Fundamental and application research on human body of medical twins, 한국산학기술학회 추계학술대회, 2022
- [3] 윤석일, 인체의 기관과 조직에 대한 가상공간상의 메디컬트윈 모델의 생성 장치 및 방법 그 방법을 구현하기 위한 프로그램이 저장된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체 및 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 저장된 프로그램, 대한민국특허-2024-0143353