

방사광을 이용한 작은 동물 뼈의 3차원 미세구조 분석

김수복*, 장상훈***, 이언석**
*순천향대학교 ICT융합재활공학과
**순천향대학교 의료IT공학과
***김천대학교 물리치료학과
e-mail : leeos@sch.ac.kr

Three-dimensional microstructure analysis of small animal bone using synchrotron radiation

Su-Bok Kim*, Sang-Hoon Jang***, On-Seok Lee**
*Dept of ICT Convergence Rehabilitation Engineering, Soonchunhyang University
**Dept. of Medical IT Engineering, Soonchunhyang University
***Dept. of Physical Therapy, Gimcheon University

요 약

방사광은 기존 기계학적인 방법으로 분석했던 연구보다 더 정확한 관찰이 가능해 신뢰도가 높은 결과를 얻을 수 있다. 본 연구의 목적은 흰쥐 정강뼈의 미세구조를 3차원적으로 분석 가능한 방사광기반 경X선을 이용해 골다공증의 진단 및 평가에 필요한 정량화된 분석을 구축하고자 하였다. 흰 쥐의 정강뼈를 방사광을 통해 해부학 구조 및 미세내부구조를 얻은 뒤 3차원적 구조분석을 하였다. 그 후, 방사광으로 얻은 영상 데이터를 통해 뼈 내부 구조를 높은 해상도 이미지로 시각화하여 분석을 할 수 있었다. 따라서, 골다공증과 관련된 퇴행성 골격질환의 정량화된 분석방법을 제시하여 근거중심의 평가와 예방의 기초자료가 될 것으로 기대한다.

1. 서론

골 조직은 두꺼운 수준(level)로 구성된 구조를 가진다. 그러나 매일 반복되는 패턴의 활동들을 통해 뼈 특정 부위의 밀도, 강도, 영양분 등을 감소시켜 손상을 발생시켜[1,2] 고령화로 인한 수명의 증가는 골다공증, 관절염과 관련된 퇴행성 뼈 질환의 발생 확률을 높인다. 이와 같은 뼈의 손상을 진단하고 적절한 중재방법을 개발하기 위한 접근 방법 중 광학 현미경, 공초점 레이저 스캐닝 현미경과 같은 기술이 있다. 하지만, 이러한 기술은 연부조직 진단에는 용이하나 석회 조직으로 쌓여 있는 골 조직 질환에 적용 시키는데 한계가 있다[3,4]. 또한, 조직을 박절하여 슬라이드화 시켜야 하므로 표본의 한정된 위치에서 2차원적인 단층상, 외형에 관한 3차원적 이미지만을 얻을 수 있는 제한점이 있다.

이러한 문제해결에 있어 일반적으로 기존에 쓰이는 조영술, 컴퓨터단층촬영(CT), 자기공명영상촬영(MRI), 등은 뇌 질환, 뼈 퇴행성 질환의 진단에 사용하지만 이와 같은 방법은 약한 감쇠 대조로 미세조직을 자세하게 볼 수 없는 단점이 있어[5,6] 아직까지 뼈의 미세손상을 기계학적인 기술을 통해 시각화하는 핵심적인 검사는 없다. 이러한 제한점을 해결하기 위한 방법 중 하나로 조직의 내부 구조를 정밀하게 관찰하는데 용이한 방사광 기술이 있으며 이 기술을 활용하면 세포 내부 구조 정보를 높은 해상도 이미지

로 시각화하여 정량화된 정확한 영상을 얻을 수 있어 이룰 토대로 조직의 미세 질환을 쉽게 파악할 수 있다[7].

따라서, 본 연구의 목적은 방사광을 이용한 경X선을 통해 흰쥐 정강뼈의 구조를 비파괴적인 방법으로 뼈 내부미세구조의 분석하여 3D로 재구성 및 정량화하고 이와 같은 객관적인 결과를 토대로 방사광 연구의 신뢰도를 높여 골격계 질환의 진단 및 평가 유용성에 대한 기초자료로 제시하고자 한다.

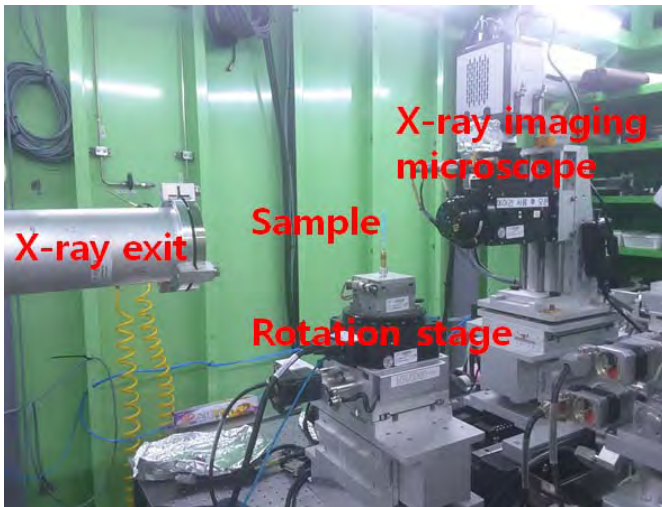
2. 연구 및 방법

2-1 Synchrotron Radiation (SR)

방사광의 주요 기능은 저장링(storage ring)에 강력한 빛을 저장하며, 빛의 속도와 가깝게 가속시킬 수 있는 선형 가속기는 170m 길이를 가진 장치이다. 게다가, 방사광가속기는 저장링에 전자총에 의해 발생된 전지를 입사시켜 저장링의 궤도에서 회전을 통해 하고자 하는 실험 장소로 빛을 방출시킨다. 저장링은 281m 원형으로 되어있고 진동튜브에 전기가 저장되어 있어 생화학, 에너지, 물리학 등 많은 연구 분야에서 실험이 가능하다.

본 연구에선 포항방사광가속기 (Pohang Light Source; PLS-II)는 방사광가속기 X선 미세단층촬영 (X-ray Micro Computed Tomography)을 빔라인 6C-BMI (Bio Medical

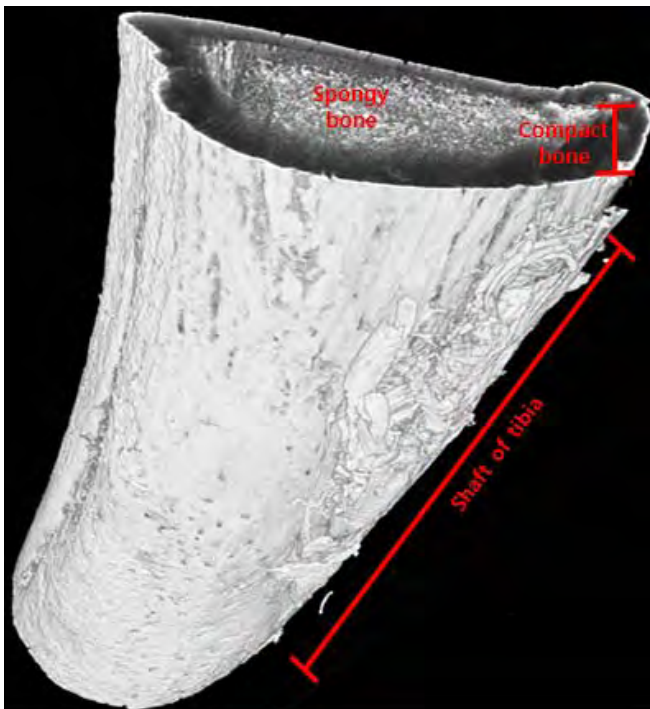
Imaging)에서 수행하였다(Pohang, Korea) (그림1).



(그림 1) 포항방사광가속기 (Pohang Light Source; PLS-II) 6C-BMI (Bio Medical Imaging)

2-2 3D 영상획득

흰 쥐의 정강뼈 air-bearing rotation stage (ABRS-150MP-M-AS, Aerotech, Pittsburgh, PA)에 고정하여 180° 까지 회전시켜 데이터를 획득하였다. 그 후, 방사광을 통해 3D로 재구성된 CT 영상은 Octopus (Inside Matters, Aalst, Belgium)와 AMIRA (FEI, Hillsboro, Oregon) programs을 사용하여 영상을 획득하였다.



(그림 2) 흰 쥐 정강뼈의 3D 구조

3. 결론

본 연구는 방사광 가속기를 이용해 흰 쥐 정강이뼈의 해부학 구조 및 내부미세구조를 분석하는 연구를 하였다. 기존의 다른 방법으로 뼈의 내부미세구조의 영상까지 분석을 할 수 없으나, 방사광을 이용해 내부미세구조의 높은 해상도 영상 및 3D 데이터를 얻어 시각화를 통해 뼈의 해부학 구조 및 분석 방법을 제시할 수 있었다 (그림 2).

향후, 골다공증과 관련된 퇴행성 질환에 대해 방사광을 활용하여 정량적인 분석 및 평가방법을 제시할수 있으며, 골격질환에 대한 근거중심 진단 및 평가가 이루어져 재활 치료의 기초자료로 사용될 수 있다.

4. 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 ‘산업전문인력역량강화사업’의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 연구임 (N0001791).

참고문헌

[1] Muir, P., K. Johnson, and C. Ruaux-Mason, In vivo matrix microdamage in a naturally occurring canine fatigue fracture. Bone, 1999. 25(5): p. 571-576.
 [2] Burr, D., Microdamage and bone strength. Osteoporosis International, 2003. 14(5): p. 67-72.[3] Georgiadis, M., R. Müller, and P. Schneider, Techniques to assess bone ultrastructure organization: orientation and arrangement of mineralized collagen fibrils. Journal of the Royal Society Interface, 2016. 13(119): p. 20160088.
 [4] Goggin, P., et al., High-resolution 3D imaging of osteocytes and computational modelling in mechanobiology: insights on bone development, ageing, health and disease. Eur Cell Mater, 2016. 31: p. 264-295.
 [5] Fratini, M., et al., Simultaneous submicrometric 3D imaging of the micro-vascular network and the neuronal system in a mouse spinal cord. Scientific reports, 2015. 5: p. 8514.
 [6] Hu, J., et al., Nondestructive imaging of the internal microstructure of vessels and nerve fibers in rat spinal cord using phase-contrast synchrotron radiation microtomography. Journal of synchrotron radiation, 2017. 24(2): p. 482-489.
 [7] Núñez, J.A., et al., Simultaneous visualisation of calcified bone microstructure and intracortical vasculature using synchrotron X-ray phase contrast-enhanced tomography. Scientific reports, 2017. 7(1): p. 13289.