

미세 골절 진단을 위한 초음파 C-scan의 활용 가능성

박 원 근* · 최 민 주** · 이 원 흠*** · 이 윤 준**** · 이 현 주**** · 강 창 익***** · 박 전 흥*

Potential Utility of Ultrasonic C-scan for detecting microfractures of the bone

Won-Keun Park*, Min-Joo Choi**, Won-Hm Lee***, Yoon-Joon Lee****,
Heon-Ju Lee*****, Chang-Ik Kang***** and Jun-Hong Park*

ABSTRACT

The study examines the medical potential of an ultrasonic C-scanning technique and for diagnosis of the fatigue induced micro-fractures of the bone. In general, it is not easy to detect the micro-fracture by a simple radiological technique. In the study, the micro-fractures were made on the tibia taken from pigs using a three point bending. Comparison was made between the ultrasonic C-scan images (25 MHz) and X-ray images of the bones with the micro-fractures. It was found that the micro-fractures invisible on the X-ray images were observed on the ultrasonic images. It is proposed further in-vitro and in-vivo studies making the ultrasonic C-scan technique clinically useful for the diagnosis of the fatigued induced micro-fractures of the bone which are not possible to detect by the conventional radiological method.

Key Words : ultrasonic C-scanning, micro-fractures, bone

1. 서 론

뼈에서 미세손상으로 유도된 골의 약화 (피로골절)는 골 재생성에 의해 회복될 수 있다. 골의 피로 쇠

약은 축적 된 손상과 골 재생성의 기능 부전의 결과로 발생할 수 있다¹⁾. 사람의 뼈에서 회복되지 않은 미세손상의 축적은 뼈의 쇠약을 증가키는 것으로 알려져 있다. 나이가 들에 따른 미세손상의 축적은 골 다공성 골절의 위험율을 증가시킬 수도 있다. 스트레스와 쇠약은 피로골절을 유발시키는 주요한 원인으로 알려져 있다²⁾.

현재 피로골절을 진단하는 방법은 단순 방사선검사 (X-Ray Image), 자기 공명 영상법, 골 주사법 등이 있다^{3,4)}. 미세손상을 검사하는 가장 정확한 방법은 염색을 통한 조직 형태학적 검사⁵⁾이나, 이는 침습적이어서 임상적으로 실용적이지 못하다. 단순 방사선 검사는 미세한 손상 측정에 한계가 있는 것으로 알려져 있다.

* 제주대학교 수의학과

Department of Veterinary Medicine, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 의과대학 의학과/ 인공심장이식연구소

Department of Medicine/ Institute of Artificial Heart, Cheju Nat'l Univ.

*** 주)어코랩

AcouLab Ltd., Seoul, Korea

**** 제주대학교 에너지공학과, 첨단기술연구소

Department of Nuclear and Energy Engineering, Research Institute of Advanced Technology, Cheju Nat'l Univ.

***** 제주대학교 해양제측공학과

Department of Marin Instrumentation Engineering, Cheju Nat'l Univ.

본 논문에서는 단순 방사선 진단법으로 진단이 어려운 치밀 뼈의 미세손상을 초음파 C-Scan Image를 이용하여 진단할 수 있는지 알아보기 위하여 실험을 수행하였다. 초음파 C-Scan Image는 반도체의 결함 발견을 위한 검사 등 비파괴 검사에 이용되고 있다. 일반적으로 초음파에 의한 결함 진단은 비침습적이고 사용의 편리, 검사 비용의 저렴 등의 장점을 가지고 있다.

II. 재료 및 방법

2.1. 시 편

본 실험에 사용된 골 시편으로 18개의 돼지 대퇴골을 사용하였다. 대퇴골을 삶아 연부 조직 제거한 후 골간 부위를 7 cm 길이로 절단하였다. 골간 내의 골수를 제거한 후 실험 할 때까지 냉동고 (-20°C)에서 보관하였다.

2.2 Mechanical Loadings for Microfracture Formation on the Bone

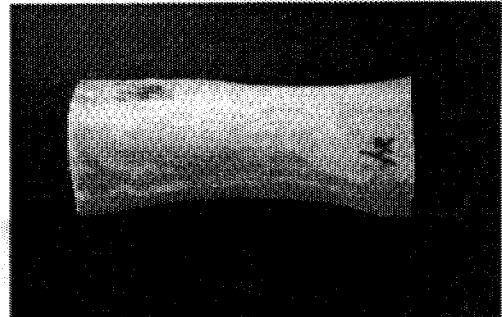
골 시편에 미세손상을 유도하기 위해 대퇴골 골간에 3-point bending 방식으로 기계적인 힘을 가하였다. 대퇴골의 앞면을 위로 향하여 앞면과 뒷면에 힘을 가하였다. 힘을 가하는 속도는 1 mm/min으로 유지하였다. 양 지지대의 간격은 50 mm, 지그의 반지름은 3 mm로 하였다. 모든 실험은 실온 (25 °C)에서 진행되었다. 시편에 여러 단계의 굽힘 힘을 준 후 각 힘에 대한 정도가 다른 미세손상이 발생하도록 하였다.

2.3. 단순방사선검사 (X-Ray Image)

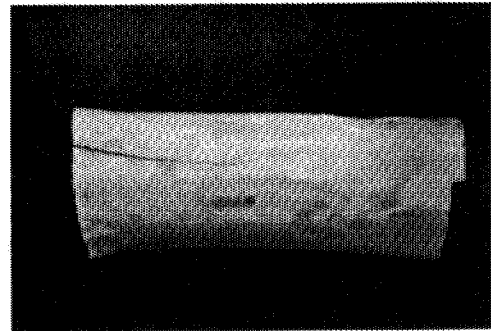
골 시편에 대한 X-Ray 촬영은 ventrodorsal과 lateral view에서 얻었다. 각 시편에 대해 손상을 주기 전에 X-Ray 촬영하여 골의 성숙도를 파악하였고, 손상을 준 후 측정하여 손상 및 골절을 확인하였다.

2.4 초음파 C-Scan Image

공진 주파수 25 MHz 집속형 변환기 (초점 거리 0.45인치)를 채용한 Scanning Acoustic Microscopy (AcouLab Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 치밀 골 표면에 대한 초음파 C-scan 영상을 얻었다.



(a) 초기 시편



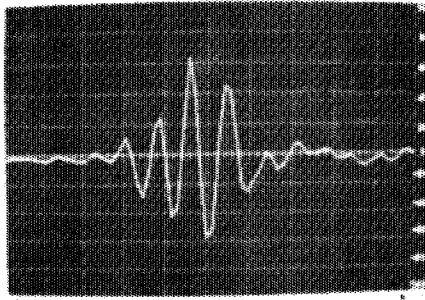
(b) 굽힘 힘에 의해 골절이 장축 방향으로 발생한 시편

그림 1. 굽힘 힘에 의한 골절된 시편의 표면 사진.

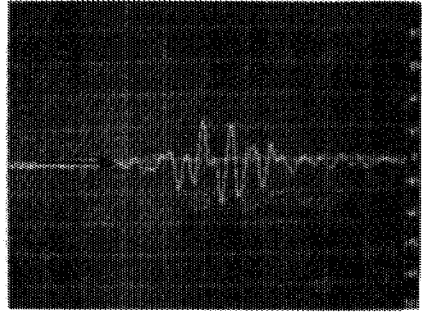
III. 결 과

3.1. Microfractures of the Bone

굽힘 힘으로 골 시편에 미세손상이 형성되기 시작하는 힘의 범위는 2,425 - 3,720 N로 나타났다. 골절의 형태는 주로 시편의 앞면과 뒷면에서 뼈의 장축에 대하여 세로로 발생 (그림 1 참조)하였고, 다양한 부위에서 발생했다. 골 손상은 치밀 골의 표면, 내부, 내면에서 동시에 발생하였다.

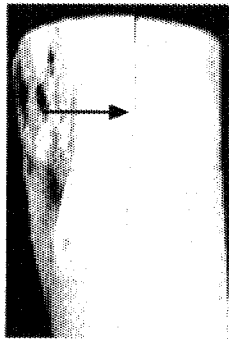


(a) 손상이 없는 정상적인 뼈의 경우

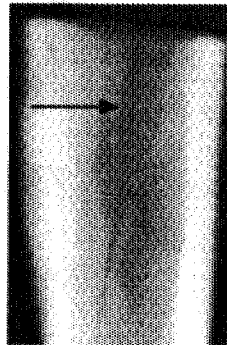


(b) 미세손상이 있는 뼈의 경우

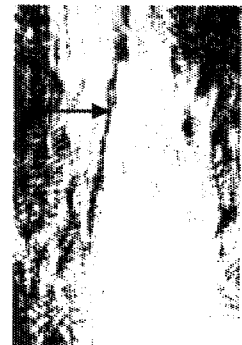
그림 2. 골 표면에서 반사된 초음파 신호. 수평축: $0.15 \mu\text{s}/\text{div}$, 수직축: relative amplitude.



(a) 표면 사진

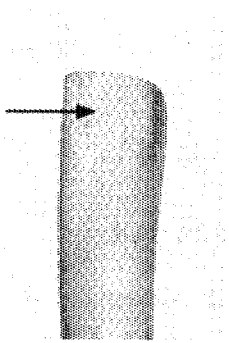


(b) X-Ray Image
(선명한 골절 확인 가능)

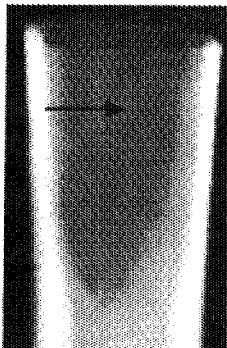


(c) 초음파 C-Scan Image
(선명한 골절 선 확인 가능)

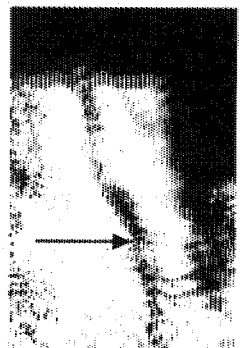
그림 3. 골절이 발생한 치밀 골 (화살표: 골절 위치 지시).



(a) 표면 사진



(b) X-Ray Image
(희미한 미세 골절 선 확인 가능)



(c) 초음파 C-Scan Image
(선명한 골절 선 확인 가능)

그림 4. 미세골절이 나타난 치밀 골 (화살표: 골절 선 위치 지시).

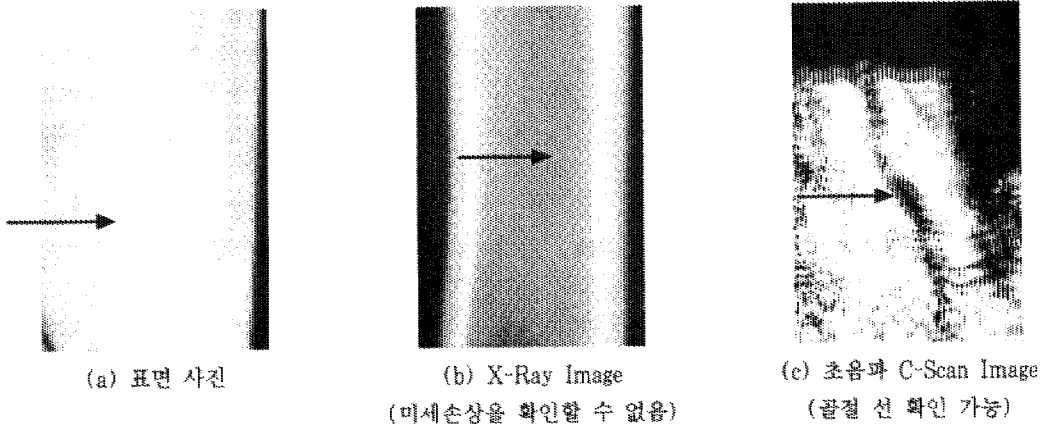


그림 5. 미세골절이 발생한 치밀 골 (화살표: 골절 선 위치 지시).

3.2. 단순방사선 영상 (X-Ray Image)

미세손상을 유발시킨 10 개의 시편 중 5 개의 시편에서 미세손상이 육안으로 관찰되었다. 이들에 대한 X-Ray Image에서 3 개의 시편의 경우 radiolucent한 골절 선을 관찰할 수 있었고 1 개의 시편에서는 매우 희미한 골절 선을 그리고 1 개의 시편에서는 미세손상을 확인할 수 없었다 (그림 3, 4, 5 참조).

3.3 초음파 C-scan image

그림 2는 골절이 없는 골의 표면에서 반사된 초음파와 미세손상 부위에서 산란되어 반사된 초음파 신호를 비교해 주고 있다. 육안으로 미세손상이 관찰되는 시편 중 X-Ray Image에서 아주 희미한 골절 선이 나타난 시편과 미세손상이 나타나지 않은 시편에 대해 Ultrasonic C-Scan을 시행하였다. 초음파 C-Scan Image로부터 X-Ray Image에서는 확인할 수 없는 미세손상을 확인할 수 있었다 (그림 3, 4, 5 참조).

한다. 그러나 본 실험에는 골 시편이 장축 방향으로 쪼개지는 형태의 골절이 발생하였다. 이러한 골절 형태는 뼈의 역학적 특성이 일반적인 단순한 원통 구조와는 매우 다르다는 것을 시사한다.

단순 X-Ray Image는 뼈의 미세손상에 대해 한계를 지니고 있음을 확인했다. 촬영 위치 (ventrodorsal과 lateral view)에 따라 진단 결과가 다르게 나오고 있음을 볼 수 있다.

골 손상 부위에서 반사된 초음파의 파형은 예상할 수 있듯이 정상적인 골 표면에서 반사된 파형보다 심하게 산란된 형태를 보여 주고 있다. 이러한 특성을 이용하여 얻은 초음파 C-Scan Image는 표면의 미세골절을 영상화 할 수 있었다. X-Ray Image로 식별하지 못한 치밀 뼈 표면의 미세손상을 진단할 수 있었다.

추후, 미세/피로 골절의 진단을 위한 초음파 C-scan image의 임상적 활용을 위해, 골의 형태, 연부 조직 등을 고려한 *in vitro* 실험이 필요하며, *in vivo* 실험을 통한 추가적인 연구가 요구된다.

IV. 결론

감사의 글

만일 뼈가 역학적으로 균일한 특성을 가진다면, 3 point bending에 대해 골절의 형태는 tension을 받는 부위에서 뼈의 장축에 대해 수직 방향으로 발생해야

본 실험에 사용된 Scanning Acoustic Microscopy를 제공해 주신 (주)에코 렘에 감사드립니다. 본 연구의 내용은 원자력기초연구사업비 및 (주)메디슨 연구비

지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- 1) B.D. Burr, M. R. Forwood, D. P. Fyhrie, B. R. Martin, M. E. Schaffler and C. H. M. B. Turner. 1997. Bone microdamage and skeletal fragility in osteoporotic and stress fractures. *Journal of Bone and Mineral Research*, vol. 12, pp. 6-15.
- 2) B. D. Burr and T. Stafford T. 1994. Validity of the Bulk-staining technique to separate artifactual from *in vivo* bone microdamage. *Clin Orthop Relat Res*, vol. 260, pp. 305-308.
- 3) 서정탁, 안재민. 1999. 하퇴부에 발생한 피로골절 - 골주사등급과 자기공명영상등급의 비교와 자기공명영상소견의 분석 -. *대한스포츠의학회지*, 17권, pp. 428-435.
- 4) 강성구, 김계영, 이권전, 고헌섭, 김소연. 1987. 피로골절 환자에서 골주사 소견과 방사선 소견의 비교. *대한핵의학회지*, 21권, pp. 39-46.
- 5) B. D. Burr and M. Hooser. 1995. Alterations to the en bloc basic fuchsin staining protocol for the demonstration of microdamage produced *in vitro*. *Bone*, vol. 71, pp. 431-433.