

새로운 소형 재료시험기기의 구축 및 돼지 연골의 역학적 특성평가를 통한 타당성 평가

Feasibility Analysis of a novel compact material testing machine by conducting a preliminary assessment of mechanical properties of porcine cartilages

*김강희¹, 정태곤², #이성재¹

*K. H. Kim¹, T. G. Jung², #S. J. Lee(sjl@bme.inje.ac.kr)¹

¹인제대학교 의용공학과, ²부산대학교 나노기술대학 나노메디컬과

Key words : Articular cartilage, Compressive elastic modulus, Material testing machine

1. 서론

연골은 관절 계면 사이의 마찰을 최소화하고 외부충격을 분산시켜 관절을 보호하는 역할을 하며 표면으로부터 깊이에 따라 기질 성분의 상이한 분포와 배열로 구성된 비등방성을 가지는 조직이다.^{1,2} 이러한 연골의 역학적 특성을 보다 명확하게 분석하고 예측하기 위해서는 하중 변화에 따른 미세한 구조적 변위를 보다 정밀하게 측정할 필요가 있으며 이를 위해 만능 재료 시험기(universal testing machine)와 전자 현미경과 같은 장비들의 실시간 연동이 요구된다. 하지만, 기존의 만능 재료 시험기의 경우 크기와 무게 그리고 구조적 제약으로 인해 일정 공간을 필요로 하며 현미경과 같은 다른 장비와의 연동에 제약이 있어 하중인가에 따른 연골의 미세한 변위를 측정하기 어려운 실정이다.

이에 본 연구에서는 연골의 미세한 역학적 특성 분석을 위하여 이동 및 현미경과 연동이 가능하도록 소형의 재료시험기(compact material testing machine, CMTM)를 구축하였으며, 돼지 연골의 역학적 특성평가를 통한 타당성 평가를 위해 돼지 연골의 하중-변위 간 관계를 CMIM이용하여 압축 실험을 실시하였다. 또한 같은 실험 조건에서 기존 재료시험기(LRX-plus, Lloyd Instrument, England)의 압축 결과와 비교하여 본 장비 동작의 유효성을 확인하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

본 CMTM은 실린더의 속도(10 μ m ~ 3 μ m)를 조절하는 서보모터(Mitsubishi, Japan), 최대 200mm 스트로크의 파워 실린더(창원기전, Korea), 그리고 하중 측정(0.098N ~ 490N)을 위한 로드셀(Curiotec, Korea)로 구성되었다. 기기의 조작을 위해 모터드라이버(Mitsubishi, Japan)를 연결하고 고정 및 현미경과의 연동이 가능하도록 투명 아크릴로 외부틀(800×60×70mm)을 제작 하였다[Fig. 1]. 또한 측정된 하중과 변위 데이터는 하이퍼 터미널 통신을 통해 PC로 전송 되도록 구성하였다[Fig. 2].



Fig. 1 A photo of the compact material testing machine developed for this study along with an electronic microscope

기기 동작의 정밀성을 확인하기 위해 하중의 경우 로드셀을 통해 0.098N, 0.49N, 0.98N, 1.47N, 1.96N 등의 다양한 무게 추를 측정하였으며, 스트로크의 1mm 동작 후 이동된 거리를 전자 현미경(Hi-lux, Korea)으로 실측하여 변위 동작의 정밀성을 검증하였다(n=5).

CMTM 동작의 유효성은 동물시편을 이용하여 LRX-plus와 비교 평가하였다. 이를 위해 돼지

슬관절(6개월, 80kg, n=9)에서 직경 4mm 원형 지그를 사용하여 연골 시편을 추출 하였으며 (n=30), 시험 중 수분 방지를 위해 PBS 용액 속에 보관하였다. 압축 시험은 시편을 실린더와 로드셀 사이 0.098N의 예비 압축하중을 인가하여 고정 한 후, 10 μ m/s의 속도로 시편 두께의 50% strain 까지 압축 하중을 부여하였다. 이때 하중 및 변위(load-displacement)를 10Hz의 간격으로 획득 한 후, stress-strain 곡선에서 초기 5% 선형 구간의 elastic modulus를 분석하였다. 또한, 기존 문헌에서의 압축 실험결과와 비교하여 CMTM의 유효성을 확인하고자 하였다. 이를 위해 Katakai등의 실험 조건(시편 $\Phi=4$ mm, 예비 압축하중 0.04N, 압축 속도 100 μ m/s)과 동일한 실험 조건을 적용하여 압축실험을 진행하였다.^{3,4}

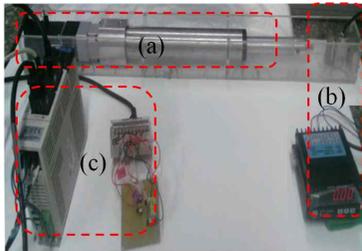


Fig. 2 Composition of CMTM; (a) servo motor and cylinder, (b) load-cell, and (c) motor driver controller

3. 결과 및 토의

하중 및 변위의 측정을 통한 기기의 정밀성 검증 결과, 각각 1%, 0.2% 이내의 오차를 확인할 수 있었다.

CMTM 동작의 유효성 확인을 위한 돼지 연골 압축 실험에서 돼지 연골의 탄성계수는 CMTM 에서 약 0.8 MPa 로 측정되어 기존의 LRX-plus 실험 값과 2.5%의 차이를 보여 거의 유사한 결과를 확인 할 수 있었다[Fig 3-(a)]. 또한 기존 문헌의 결과와 CMTM으로 측정한 결과를 비교한 경우 역시 유사한 탄성계수 값을 확인할 수 있었다 [Fig. 3-(b)].⁵

4. 결론

본 연구에서 연골의 압축 특성을 측정하기 위해 구축된 장비는 기존 재료시험기와 동작의 유효성

비교 시 거의 유사한 압축하중-변위 측정 결과를 제공할 수 있음을 확인할 수 있었으며 (기존 문헌 값과의 비교에서도 유사한 결과를 제공할 수 있음을 추가로 확인할 수 있었다) 따라서 본 기기와 현미경의 접목을 통해 연골의 미세한 구조적 변화와 역학적 특성 분석이 동시에 측정 가능할 것으로 사료된다.

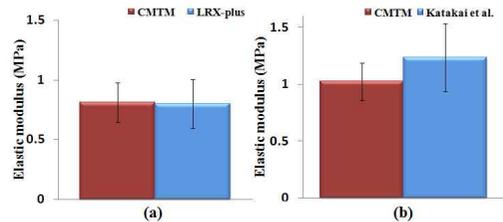


Fig. 3 Comparison of elastic modulus in the 5% initial linear region ($\Phi=4$ mm); (a) CMTM and LRX-plus (loading rate at 10 μ m/s), (b) CMTM and Katakai et al. (loading rate at 100 μ m/s)

감사의 글

본 연구는 보건복지부(A100451)의 지원을 받아 이루어 졌습니다.

참고 문헌

1. A. Newman., "Articular Cartilage Repair" AJSM, 26, 309-324, 1998
2. J. Becerra, J. Andrades, E. Guerado, A. Reddi., "Articular Cartilage: Structure and Regeneration" Tissue engineering, 16, 617-627, 2010
3. D. Katakai, M. Imura, W. Ando, K. Tateishi, H. Yoshikawa, N. Nakamura, H. Fujie., "Compressive properties of cartilage-like tissues repaired in vivo with scaffold-free, thssue engineered constructs" Clinical biomechanics, 24, 110-116, 2009
4. E. Langelier, M. Buschmann., "Increasing strain and strain rate strengthen transient stiffness but weaken the response to subsequent compression for articular cartilage in unconfined compression" J Biomech, 36, 853-859, 2003
5. K. Athanasiou, M. Rosenwasser, J. Buckwalter, T. Malinin, V. Mow., "Interspecies comparisons of in situ intrinsic mechanical properties of distal femoral cartilage" J Orthopedic, 9, 330-340, 1991