

레이저 변위계를 이용한 생체 연조직의 변형 측정법에 관한 연구

최경주*, 홍정화, 문무성(재활공학연구소), 이진희(IPSI)

A Study on the Measurement Methodology for Soft Tissue Deformation Using Laser Extensometer

K. J. Choi, J. H. Hong, M. S. Mun(Korea Orthopedics and Rehabilitation Engineering Center), J. H. Lee(IPSI)

ABSTRACT

Deformation of soft tissue is known inhomogeneous and non-linear in general. In this study, we propose a measurement methodology of local/global strain during soft tissue elongation precisely using laser extensometer which has high accuracy, resolution and is possible to measure global/local strain. The mechanical tensile test are performed on tibialis cranialis, flexor hallucis longus, extensor digitorum longus of swine hindlimb. In order to measure target displacement, reflective marker is attached to detect elongation on specimen using surgical adhesive. The result of this study is to show that laser extensometer is valid to measure longitudinal elongation which is inhomogeneous and non-linear for soft tissue.

Key Words : Soft tissue (연조직), Tendon (건), Laser extensometer (레이저 변위계), Local strain (국부 변형률)

1. 서론

인체를 구성하고 자세를 만드는 근육 및 골격에 대한 거동이나 변형을 분석하려는 연구가 최근 많은 연구자들에 의해 활발히 진행되고 있다. 이러한 인체 근골격계의 생체역학적 분석의 한 방법으로 인체의 동작기능, 예를 들면 하지운동(보행), 상지운동, 체간운동(자동차 충돌해석의 경추, 척추부의 거동), 단단부의 조직변형 등의 문제를 수학적 모델이나 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 해석하는 방법이 널리 이용되고 있다. 인체 근골격 거동의 해석 과정에서 인체모델은 해석 결과의 정확도를 좌우하는 가장 중요한 요소이며 이를 검증하기 위해 다양한 생체역학적 구성방정식, 운동방정식의 파라미터를 획득하고 실험방법을 개발하는 것이 반드시 필요하나 현재 관련된 국내 연구는 매우 미진한 상태이다.

건/인대와 같은 생체 조직은 비교적 작은 변형과 국부적으로 국소 영역에서 불균일하고 비선형적인 거동을 하는 것으로 알려져 있다[1]. 일반적으로 인장 시험에서의 길이 방향 변형률 측정은 크로스헤드의 변위를 시편의 변형으로 간주하여 측정하지만 이는

시편의 전체 변형률만을 측정할 수 있으므로 생체 조직의 정밀한 변형 측정에는 적합하지 않다. 생체 연조직의 변형 측정에는 이미지 프로세싱 방법이 적용되는데 픽셀단위로 변형률을 계산하는 이미지 프로세싱 방법은 이미지 측정 장치의 해상도에 따라 정밀도가 영향을 받기 때문에 생체 조직의 변형을 측정하는데 제한적이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 시편의 전 영역의 변형률과 국부적으로 발생하는 변형률의 측정이 가능하고 정밀한 레이저 변위계를 이용하여 연조직의 변형률을 측정하는 방법을 제안하겠다. 본 논문에서는 동물의 연조직 시편을 이용하여 생체 연조직 변형 측정에 레이저 변위계의 적용 가능성을 검증하고 이후 수행될 인체 연조직의 측정에 본 연구에서 제안한 변형 측정 방법을 적용할 것이다.

2. 실험방법

2.1 연조직 시편

측정에 사용된 연조직 시편은 돼지 뒷다리의 전경골근(tibialis cranialis), 장무지굴근(flexor hallucis longus)

건으로 좌우측은 구분하지 않았고 Table 1 에 치수를 제시하였다. 돼지의 뒷다리는 희생한 후 바로 채취하여 -30 ℃에서 보관하였다. 시편을 만들기 전 24 시간 동안 4 ℃에서 해동하였고[2] 주위 연조직과 근육을 제거하고 건만을 획득하여 생리적 식염수에 적신 거즈에 싸서 -30 ℃에서 보관하였다[3]. 인장시험시 레이저 변위계의 레이저를 반사하기 위한 마커를 Fig. 1(a)와 같이 연조직의 표면에 부착하였다. 연조직의 변형은 국부적으로 불균일하기 때문에 Fig. 1(b)와 같이 마커와 시편이 점접촉을 할 수 있도록 접착제를 도포하였다. 접착제는 외과 수술 시 봉합에 사용되는 것으로 생체 조직에 무해한 성분으로 구성되어 있는데 접착제 도포가 연조직의 변형에 영향을 주는지 확인하기 위해 실험을 실시하였다. 시편은 장지신근(extensor digitorum longus)을 이용하여 접착제를 도포한 것과 도포하지 않은 시편 각각 3 개씩 실험하였다. marker 1 과 5 에 부착하여 전체 변형률을 측정하였으며 시편의 중앙 부분에 접착제를 전체적으로 도포하였다.

2.2 시험장치 및 측정방법

2.2.1 시험장치

생체 연조직의 변형률 측정에 사용된 장치는 Fig. 2(a)와 같은 레이저 변위계(Laser Extensometer P-MA-50, Fiedler Optoelektronik GmbH, Germany)이며, 스캔속도는 50 Hz, 분해능은 0.1 μm이다. 인장시험에 사용한 UTM 은 INSTRON model 8558(Fig.2(b))이며, load-cell 은 25.0 lbs (model 81/2284, SENSOTEC, USA)를 이용하였다.

Table 1 Dimensions of swine hindlimb specimen

	Tibialis cranialis	Flexor hallucis lingus
Number	2	2
Length	50.83	100.27
Width	8.49	11.61
Thickness	2.77	4.21

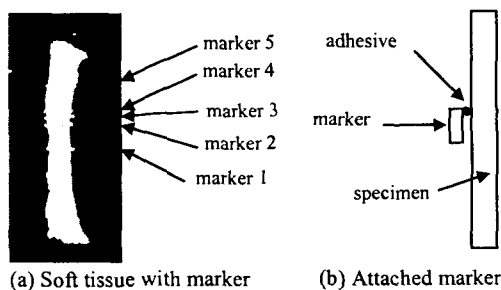


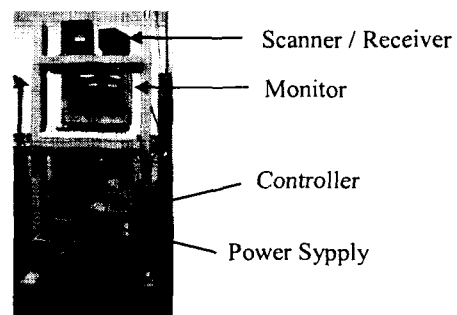
Fig. 1 Feature of soft tissue specimen

2.2.2 측정방법

레이저 변위계는 시편에 부착한 마커 사이의 국부 변형률의 측정이 가능하다. 따라서 Fig. 1의 marker 1 과 5 사이의 변형률은 시편 전체에 발생하는 변형으로 가정하고 marker 2 와 3, marker 3 과 4 사이의 변형률은 국부 변형으로 가정한다.

Fig. 2(c)의 클램프에는 생체 연조직의 습하고 기름기 있는 표면을 고정하기 위해 사포를 이용하였고[4] 실험하는 동안 연조직의 표면이 마르지 않도록 0.9%의 생리적 식염수를 지속적으로 분사하였다.

측정 대상 시편의 표점 거리는 25 mm로 통일하였고 1mm/sec 의 변형률 속도로 20% 변형이 발생하도록 인장하였다.



(a) Laser extensometer measurement system



(b) INSTRON

Fig. 2 Apparatus setup

3. 결과 및 고찰

3.1 접착제에 의한 영향

Table 2 는 마커 부착용 접착제가 연조직 변형에 영향을 끼치는지에 대한 여부를 실험한 결과이다.

Table 2 Effects of adhesive for global strain (%)

		1 sec	2 sec	3 sec	4 sec
Laser extensometer	non-adhesive	1.10	3.48	5.52	6.99
	Adhesive	2.58	5.17	5.94	7.37
Instron disp.		5	10	15	20

3.2 전체, 국부 변형률

Fig. 3 은 전경골근과 장무지굴근건의 인장시험 결과를 전체 변형률에 대해 INSTRON 에서 측정한 변위와 레이저 변위계로 측정한 전체 변형률을 비교하여 도시하였다. 건에 발생하는 변형률 분포는 개체나 건의 종류에 따라 경향이 비슷하게 나타나는 것으로 보여진다.

Fig. 4 는 장무지굴근건의 국소 변형률을 도시하였다. 각 국소 영역에서의 변형률이 불균일하고 비선형적인 것을 알 수 있다.

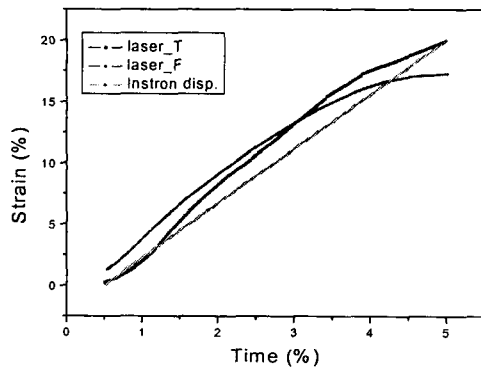


Fig. 3 Global and local strain distribution of flexor hallucis longus tendon for the swine hindlimb

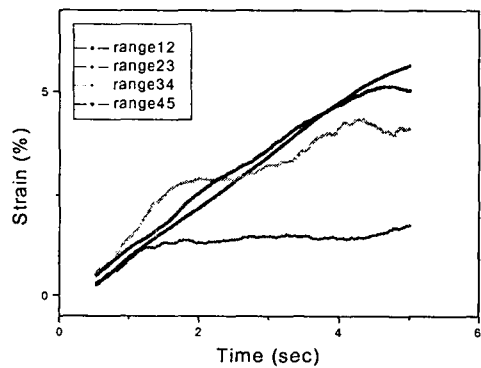


Fig. 4 Local strain distribution of flexor hallucis longus tendon for the swine hindlimb

4. 결론

본 연구에서는 동물 연조직의 인장시험을 통해 레이저 변위계의 생체 연조직 변형의 측정 가능성 및 효용성에 대해 검토하였다. 생체 연조직 시편의 전체,

국부 변형률을 측정하는데 레이저 변위계를 이용함으로써 생체 연조직에서 발생하는 변형을 좀 더 자세하게 관찰할 수 있었다. 이런 국부 변형률 분포를 측정함으로써 보다 실제와 가까운 생체 조직의 물성을 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 이후 연구를 통하여 인간의 생체 연조직 변형 측정에 본 연구의 방법을 이용하여 주요한 생체역학 파라미터를 측정할 것이다.

후 기

본 연구는 과기부 “국책연구개발사업-엔지니어링핵심공동기반기술사업(M1-0139-08-0000)”으로 수행되었으며 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Y.C. Fung, "Biomechanics Mechanical Properties of Living Tissues," 1993.
2. B. Fink, G. Schwinger, J. Singer, G. Schmielau, W. Ruher, "Biomechanical properties of tendons during lower-leg lengthening in dogs using the Ilizarov method," Journal of Biomechanics, Vol. 32, pp. 763-768, 1999.
3. Hiromichi F., Norita Y., Takeshi M., Kozaburo H., "Effects of growth on the response of the rabbit patellar tendon to stress shielding: a biomechanical study," Clinical Biomechanics Vol. 15, pp. 370-378, 2000.