

설치류 식도의 생체 액츄에이터 구동 측정 및 분석

The study of obtaining rodent's esophageal bio-actuator

*서정준¹, #홍정화¹, 전재홍²

*J. J. Suh¹, #J. H. Hong(hongjh32@korea.ac.kr)¹, J. H. Jeon²

^{1, 2}고려대학교 제어계측공학과

Key words : bio-actuator, rat, isotonic, isomeric, force-velocity curve

1. 서론

전 세계적으로 식도에서 빈번히 발생하고 있는 대표적인 질병은 식도염, 식도 파열 등으로 나타나고 있다. 이와 같은 질병을 생체역학적 접근으로 보다 나은 치료와 질병예방을 위해 전 세계적으로 식도를 포함한 여러 근육 파열 및 근육운동에 대한 생체역학적 연구가 진행되고 있다. 하지만 국내외로 골격근에 비해 식도의 생체역학적 연구가 미비한 실정이다.

본 연구는 타 근골격근육과 다른 연하운동을 하는 원통의 형태의 쥐 식도를 사람의 것과 대치해 파단 실험을 통해 파단이 시작되는 파단강도를 규명하고, 전기적 자극을 통한 근 수축력과 근 수축 속도를 알아보고, 이에 대한 힘-속도곡선인 근의 등장성수축에서 얻어진 힘(부하)과 단축속도와의 관계를 나타내는 데에 있다.

2. 연구 방법

1. 실험동물의 사육

본 연구에서는 총 48마리의 암컷 Sprague-Dawley 쥐 (300g)를 이용했다. 실험실의 온도(22±2℃ 상대습도(50±5%) 및 조명 (12:12시간 light-dark cycle)등은 일정하게 유지되었다.

2. 식도 표본 적출

에테르(ether)를 흡입시켜 마취시킨 후 배에서 목 부근까지 절개하여 5cm 길이의 식도를 채취하였다. 그 후 재빨리 버퍼용액에 보관하여 생체 액츄에이터의 운동에너지성분을 유지하도록 하였다.

3. 인장실험

쥐 식도에 대한 인장실험은 인장강도, 항복강도, 변형률 등의 근육의 정지장력 특성을 얻기 위하여 수행되었다. 총 5번의 인장실험을 통해 Table 1.과 같은 항복점을 나타내었다.

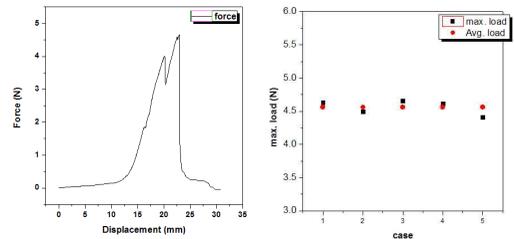


Fig. 1 The graph of rat esophageal tensile experiment (left: graph of tensile experiment, right: standard deviation of experiments)

Table 1 The rat's esophageal yield stress

n	Max. load(N)	SD	Avg.(N)
5	4.5675	0.091914	4.5621

4. 등척성 근 수축 실험

등척성 근 수축이란 근육의 양단이 고정이 된 상태에서 외부의 자극에 의한 근수축력이다. 외부 전기 자극(pulse duration 0.2ms 100hz)으로 0V에서 최대장력이 발휘할 때까지 점진적으로 증가시켜 최적의 자극 값으로 최대장력을 구하였다.

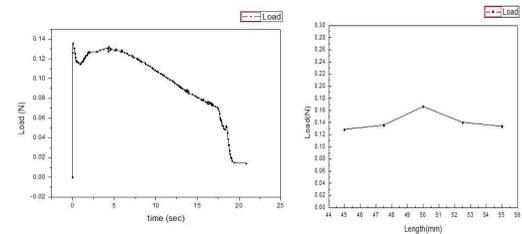


Fig. 2 The graph of rat esophageal isometric experiment (left: graph of isometric experiment, right: comparison of each different length of rat's esophageal isometric experiment)

Table 2. The rat's esophageal isometric experiment

n	Max. load(N)	Lo(mm)	Avg.(N)
5	0.1665	50	0.1412

5. 등장성 근 수축 실험

등장성 근 수축 실험이란 근육의 한 쪽만 고정시키고 외부의 자극을 주었을 때 고정되지 않은 근육의 수축을 통한 길이의 변화와 이를 통한 근 수축 속도를 구하는 실험이다.

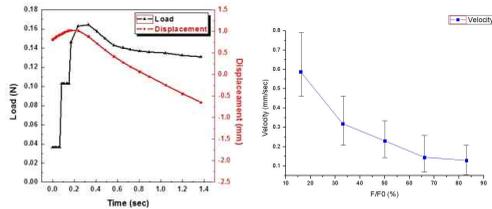


Fig. 3 The graph of rat esophageal isotonic experiment (left: graph of isometric experiment, right: force velocity curve of rat's esophageal isotonic experiment)

Table 3. The rat's esophageal isotonic experiment

n	Avg. peak force (N)	Avg. constant force (N)	Avg. peak velocity (mm/s)	Avg. constant velocity (mm/s)
5	0.18±0.031	0.15±0.016	2.8±0.49	1.74±0.28

등척성 근 수축 실험을 통해 구한 최대장력을 고려해 점층적으로 임의의 부하를 5가지로 나눴을 때의 근 수축 속도 측정하였다.

Table 4. The rat's esophageal force-velocity

F/F0	16% (mm/s)	33% (mm/s)	50% (mm/s)	66% (mm/s)	83% (mm/s)
n=5	0.59±0.15	0.32±0.09	0.23±0.07	0.15±0.09	0.13±0.05

3. 연구 결과

인장실험을 통해 쥐의 항복점은 다섯 시편 모두 편차가 적은 4.6N(±0.09)에서 과단이 시작하는 것으로 측정되었으며, 등척성 실험을 통해 최대 근 수축(Max. load)인 4.57N을 측정하였다.

이후 등장성 근 수축 실험을 통해 일반적인 근골

격 근육과 달리 전기 자극 후 일차적인 순간적 근 수축을 갖고 그 이후, 1초의 일정한 근 수축을 유지하며 점차 식도의 생체 액츄에이터의 구동 에너지를 소진하여 점차 근 수축력을 잃는 패턴을 측정하였다.

힘-속도 관계는 등장성 수축에서 얻어진 힘(부하)과 단축속도와와의 관계를 본 것이다. 식도에 차츰차츰 부하를 가해 부하의 증가에 따라서 단축속도는 인정되는 근 수축기구 중에서 가장 기본적인 역학적 특성으로 본 연구에서 최종적으로 얻고자 하는 파라메타이다.

힐의 특성식(Hill's characteristic equation)인 $V(F+a) = b(F_0 + F)$; (F_0 : max. isometric force, F : contraction force, V : velocity of contraction force, a, b ; constant)을 적용하여 부하가 전혀 없는 최대 수축 속도를 1.25mm/s로 나타냈다.

4. 결론

본 연구는 국내외적으로 연구가 미비한 식도의 연하운동 및 생체 액츄에이터 특성을 이해하기 위한 실험이 이루어졌으며, 가장 기본적 생체 역학적 특성인 힘-속도 관계를 규명하는 데 의미가 있다. 본 연구를 통해 향후 연구에도 도움이 되는 영향을 줄 것을 기대한다.

후기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2012-0000790).

참고문헌

1. Frank E. Nelson, Annette M. Gabaldo'n, Thomas J. Robert, "Force-velocity properties of two avian hindlimb muscles" CBP part A 137, 711-721, 2004.
2. Mittal RK, "Neuromuscular Anatomy of Esophagus and Lower Esophageal Sphincter," Morgan & Claypool Life Science; 2011.
3. A. R. LUFF, "Dynamic Properties of the inferior rectus, extensor digitorum longus, digitorum and soleus muscles of the mouse", J. Physiol, 313, pp. 161-171, 1981.
4. 김영기, 남광일, 박성식, "설치류 식도에서 가로 무늬근육-민무늬근육 이행부의 미세구조에 관한 연구," 대한해부학회지, 31(1), 81-92, 1998.