한국소음진동공학회 2013년 추계학술대회논문집, pp. 172~173

경직환자에 대한 슬개건 반사 시 대퇴사두근의 근력 예측

Identification of Muscle Forces on Quadriceps Femoris Muscles during the Patellar Tendon Reflex for Spasticity

강문정* · 조영남* · 유홍희†

Moon Jung Kang, Young Nam Jo and Hong Hee Yoo

1. 서 론

건 반사는 건이 갑작스런 신장 자극을 받았을 때 해당 근육과 건의 손상을 막기 위해 뇌의 명령없이 빠르게 작동하는 무의식 반응이다. 건 반사의 중추는 척수 신경이며 건 반사의 유발이 매우 간편하기 때문에 신경계 질환의 진단을 위하여 자주 사용된다. 특히 슬개건 반사는 경직 환자의 진단에 활용된다. 따라서 슬개건 반사를 정량화하기 위한 실험과 연구가 활발히 진행되고 있다.

슬개건 반사를 해석적으로 접근하기 위해서는 근육의 수학적 모델이 필요하다. 근육 모델은 1938년 Hill의 실험으로부터 크게 발전되어왔다. Hill은 실험을 통하여 근육의 수축속도 근력과의 관계를 규명하였다. Zajac은 Hill의 연구를 발전시켜 근육-건 모델은 제안하였으며, 이는 현재 인체 해석모델을 위한 근육모델 중 가장 널리 사용되고 있다. 또한, Menegaldo는 인체 하지부 근육에 대하여 Hill타입 모델에 필요한 물성치를들 제안하였다. Ma 는 인체의 동작들을 해석하기 위한 각 분절의 측정학 정보에 대하여 조사하였다.

한편, 슬개건 반사에 대한 연구는 주로 실험을 위주로 발전되어왔다. Simons는 슬개건 반사 동안의 근장력을 측정하였으며, Carvozin은 대퇴부의 EMG 신호를 측정하였다. Mamizuka는 슬개건 반사가 일어나는 동안 종아리의 각속도를 측정하여 슬개건 반사를 정량화하는 척도로 제안하였다.

본 연구의 목표는 경직환자의 슬개건 반사를 해석적으로 예측해보고, 이를 건강한 성인의 결과와 비교하여 슬개건 반사의 특성을 파악하는데 있다.

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학과
E-mail : hhyoo@hanyang.ac.kr
Tel : 02-2220-0446, Fax : 02-2299-8169
* 정회원, 한양대학교 기계공학과

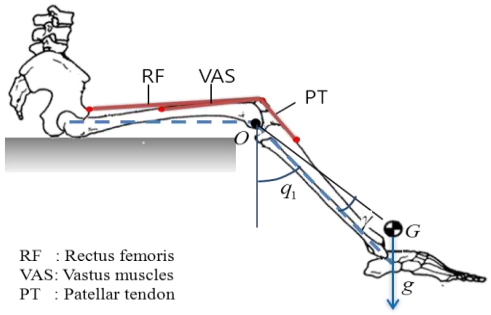

Fig. 1 Musculoskeletal model

2. 모델링

2.1 근골격계 모델

본 연구에서는 종아리와 발을 하나의 강체로 가정하여 시상면에서 평면운동을 할 수 있도록 모델링하였다(Fig. 1). 무릎관절은 레볼루트 조인트로 모델링하였으며, 근육은 시상면 운동에 관여하는 대퇴사두근만 고려하였다. 또한 무릎관절과 근육의 특성으로 인한 감쇠효과를 고려하였다. 이로부터 다음과 같은 운동방정식을 유도하였다.

$$I^{L/O}\dot{u}_1 + cu_1 + ML\sin(q_1+\gamma)g - F_Q^t D_{pt} = 0 \qquad (1)$$

2.2 근육 모델

각 근육은 Hill-type 근육 모델로 모델링하였다. 이 모델은 근육과 건으로 구성되어 있으며, 근육과 건은 Fig. 2 와 같이 우모각(ϕ)을 이루며 연결되어 있다. 근육 모델은 다시 능동요소(contractile element)와 수동요소(parallel element)로 나뉜다. 능동요소는 뇌의 명령에 따라 능동적으로 근력을 발생시킨다. 이 때 근력은 Fig. 3과 같이 근육의 활성도의 근육의 길이에 따라 달라진다. 또한 수동요

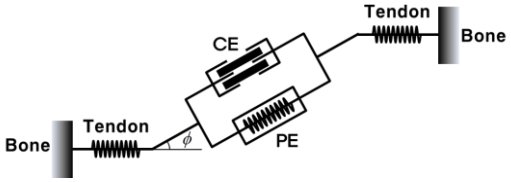

Fig. 2 Hill-type muscle model

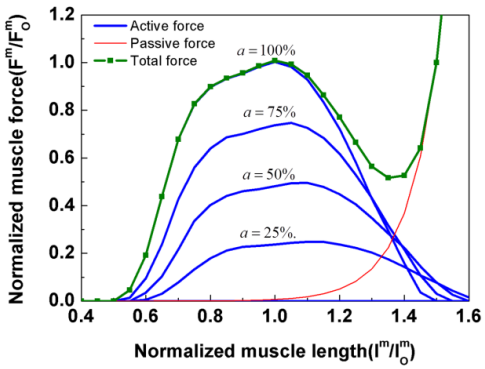

Fig. 3 Relations of muscle forces and length

소는 외력에 의해 활성화되며, 근육의 최적길이 이상이 되면 지수함수적으로 근력을 발생시킨다. 건 모델은 건의 자유길이 이상이 되면 식 (2)와 같이 힘을 발생시킨다.

$$\tilde{F}^t = \begin{cases} 0 & \varepsilon \le 0 \\ 1480.3\varepsilon^2 & 0 < \varepsilon < 0.0127 \\ 37.5\varepsilon - 0.2375 & \varepsilon \ge 0.0127 \end{cases} \qquad (2)$$

3. 해 석

3.1 해석 방법

운동 정보를 이용하여 근력을 예측하는 역동역학(Inverse dynamics) 접근방법을 이용하 해석을 수행하였다. 운동학 정보는 Mamizuka의 실험 결과를 활용하였다. Mamizuka는 슬개건 반사 시 종아리의 각속도 측정을 하였으며, 본 연구에서는 각속도 정보를 토대로 무릎의 각도와 종아리의 각가속도 정보를 유추하여 운동방정식에 적용하였다. 운동방정식을 통해 건에 작용하는 힘을 구한 후, 각 근육의 단면적(pCSA) 비로 힘을 분배하여 근육의 활성도를

Table 1 Muscle properties for Hill-type muscle model

Actuator	$pCSA(\%)$	$F_O^M(N)$	$l_O^M(m)$	$l_s^t(m)$	$\phi(\deg)$
RF	23.63	779	0.0840	5	0.3460
VAS	76.37	4530	0.0857	4.38	0.1407

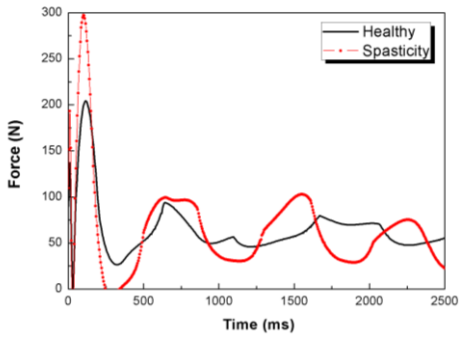

Fig. 4 Comparision of muscle forces (RF)

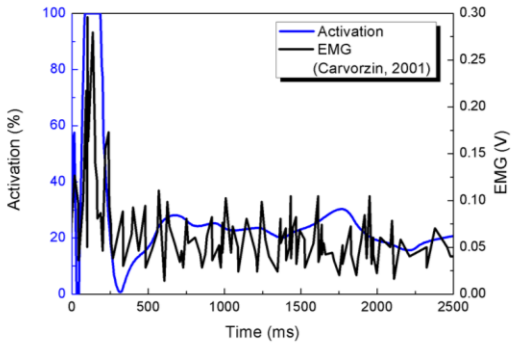

Fig. 5 Validation

예측하였다. 이 때 사용한 각 근육의 물성치는 Table 1에 나타내었다.

3.2 해석 결과 및 검증

Fig. 4는 해석 결과로 얻은 대퇴직근의 근력 결과를 나타낸다. 경직환자의 경우 건강한 성인에 비해 근력이 약 1.5배 크게 나타났으며, 신장반사가 일어난 후에도 근력의 진폭이 더 큰 것으로 나타났다. 해석을 통해 얻은 근활성도와 근전도 측정결과를 비교하여 두 결과의 경향이 일치함을 확인하였다.

4. 결 론

경직환자의 슬개건 반사로 인한 근력의 변화를 해석적으로 예측해보고, 건강한 성인의 결과와 비교해 보았다. 본 연구는 향후 신장반사의 해석 모델의 개발로 발전시킬 예정이다.

후 기

이 논문은 2013년 국방과학연구소 생존성 기술 특화연구센터의 사업으로 지원받아 연구되었음.