

# 근육 파라미터 최적화를 위한 상관계수 기반의 목적함수 제안

## A correlation coefficient-based objective function for optimizing the muscle parameters

\*손종상, #김영호

\*J. Son, #Y. H. Kim(younghokim@yonsei.ac.kr)

연세대학교 의공학부, 연세의료공학연구원

Key words : Muscle parameter optimization, Muscle force, Joint moment, Musculoskeletal modeling

### 1. 서론

근골격 모델링 기술은 운동 시 개별 근육의 기여를 이해하는 데 널리 적용되고 있다. 이론적으로는 범용적인 근골격 모델을 이용하여 계산한 관절 모멘트(모델 모멘트)는 실험을 통해 측정된 관절 모멘트(기준 모멘트)와 일치해야 하나 현실적으로는 많은 차이가 있다. 이는 근골격 모델에 포함된 다양한 파라미터들이 사람마다 다른 차이를 정확히 반영할 수 없기 때문이다. 따라서, 대상자의 특성이 반영된 모델 파라미터를 근골격 모델에 포함시켜 모델 모멘트와 기준 모멘트가 일치하도록 할 필요가 있다. 그렇지만 근골격 모델에 필요한 파라미터들을 직접 측정하기에 제한점이 많으므로, 대부분의 연구는 최적화 기법을 도입하여 모델 모멘트와 기준 모멘트의 차이(분산)를 최소화하는 목적으로 모델 파라미터를 수치적으로 조정하여 문제를 해결하고 있다[1]. 그러나, 모멘트의 차이만을 최소화하는 것을 목적으로 하기 때문에, 모멘트를 이루는 근력을 계산하는 과정에서 비현실적인 근력의 조합으로 모멘트의 차이가 최소화되는 경우가 발생할 수 있다[1]. 실제로 개별 근육의 기여를 이해하는 데에는 근력의 정확한 예측이 필수적이므로, 모멘트의 오차를 해결하는 것만큼 현실적인 근력을 예측하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 의미있는 근력의 조합으로 모델 모멘트를 예측하고, 예측된 모델

모멘트와 기준 모멘트의 차이를 최소화하는 기존의 목적을 유지할 수 있는 목적함수를 제안하고자 한다.

### 2. 방법

개인 맞춤형 근골격 모델은 본 연구팀이 기보유한 모델을 수정하여 개발하였다[2]. 개인 맞춤형 근골격 모델은 팔꿈치 관절과 팔꿈치 관절의 주요 작용근인 상완이두근 장두 및 단두, 상완근, 상완삼두근 장두, 중두 및 외측두를 포함한다. 의미있는 근력을 구하기 위해 근활성도와 근력은 선형적 관계가 있다고 가정을 바탕으로 하여[3], 최적화 수행 루틴에서의 목적함수는 기준 모멘트( $M_r$ )와 모델 모멘트( $M_m$ )의 상관계수와 개별 근육의 근활성도( $a_j$ )와 개별 근력( $f_j$ )의 상관계수 모두 1에 가까워 지도록 설정하였다.

$$\min \left( (1 - \text{corr}(M_r, M_m))^2 + \sum_{j=1}^m (1 - \text{corr}(a_j, f_j))^2 \right)$$

새롭게 제안한 목적함수를 평가하기 위해 오른쪽 편마비 환자 1명을 대상으로 실험을 진행하였다. Biodex System 3(Biodex Medical Systems, 미국)과 MyoSystem 1200(Noraxon, Inc., 미국)을 동기화하여 환측의 팔꿈치 관절 굴곡 및 신전 시 등속성수축(30%)을 통해 발생하는 관절 모멘트와 근전도를 1 kHz 로 획득하였다. 근전도는 피부 표면에서 측정 가능한 4개의 근육(상완이두근 장두, 상완근, 상완삼두근

장두 및 외측두)에서 측정하였으며, 측정하지 않은 두 근육(상완이두근 단두와 상완삼두근 중두)의 근전도는 가정하였다.

### 3. 결과 및 토의

기존의 목적함수(TO)와 본 연구에서 제안한 목적함수(DO)를 통해 기준 모멘트와 모델 모멘트의 차이는 감소했다(Fig. 1a). 그러나 TO 를 이용하여 찾은 파라미터는 근활성이 있음에도 불구하고 근력을 약 0 N으로 예측한 반면, DO 를 통해 구한 파라미터는 근활성과 유사한 근력을 예측하였다(Fig. 1b). 이를 통해, DO 의 관절 모멘트 예측은 TO 보다 떨어지나 의미있는 근력을 획득하는 데 효과적임을 확인하였다.

상관계수에 기반한 DO 를 제안하는 과정에서 개별 근육의 근활성도와 개별 근력은 선형 관계로 가정하였다. 일반적으로 근력은 능동 근력과 수동 근력의 합으로 나타나므로 근활성도를 이용한 능동 근력 뿐만 아니라 수동 근력도 고려를 해주어야 한다. 그러나 선행연구에 의하면 수동 근력은 능동 근력보다

매우 작기 때문에[4], 개별 근육의 근활성도와 개별 근력을 선형 관계로 가정한 것에 심각한 오류가 없을 것으로 사료되며, 본 연구에서 얻은 결과에서도 의미있는 근력을 획득하였다.

### 4. 결론

본 연구에서는 기존의 목적함수에서 관찰되던 비현실적인 근력 문제를 해결하기 위해 상관계수 기반의 새로운 목적함수를 제안하였다. 그 결과로 기존의 목적함수보다 모멘트 예측 능력은 부족하지만 의미있는 근력을 예측할 수 있었다. 이는 운동 시 개별 근육의 역할과 기여를 이해하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

### 후기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 지역산업기술개발사업(70011192)과 지식경제부 기술혁신사업(산업원천기술개발사업:10032055)으로 지원된 연구입니다.

### 참고문헌

1. Heine, R., Manal, K., and Buchanan, T.S., "Using Hill-type muscle models and EMG data in a forward dynamic analysis of joint moment: Evaluation of critical parameters," *J Mech Med Biol*, **3**, 169-186, 2003.
2. Son, J., Kim, S.H., Ahn, S.J., Ryu, J.S., Hwang, S.H., and Kim, Y.H., "Determination of the dynamic knee joint range of motion during leg extension exercise using an EMG-driven model," *Int J Precis Eng Manuf*, **13**, 117-123, 2012.
3. Bogey, R.A., Perry, J., and Gitter, A.J., "An EMG-to-force processing approach for determining ankle muscle forces during normal human gait," *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, **13**, 302-310, 2005.
4. Zuurbier, C.J., Everard, A.J., van der Wees, P., Huijting, P.A., "Length-force characteristics of the aponeurosis in the passive and active muscle condition and in the isolated condition," *J Biomech*, **27**, 445-453, 1994.

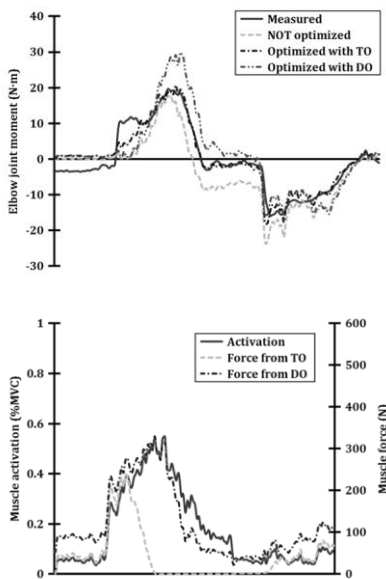


Fig. 1 (a) Joint moments (b) Muscle forces (Biceps brachii long head)