

등척성 운동 시 근육의 단축성 운동과 신장성 운동에 따른 근피로도 평가

Evaluation of muscle fatigue during isometric exercise depending on concentric contraction and eccentric contraction

이영호*, 정현두, 최홍호, 문창수, 문치웅

Y. H. Lee, H. D. Jung, H. H. Choi, C. S. Mun, C. W. Mun

요 약

본 연구에서는 등척성 운동 시 단축성 운동과 신장성 운동에 따른 이두근과 삼두근의 근피로도 변화를 근전도를 통해 평가하였다. 건강한 남성 12명을 대상으로 팔꿈치 관절의 최대 굴곡을 통한 단축성 운동과 최대 신전을 통한 신장성 운동을 수행하였다. 획득한 근전도 신호는 시간 영역과 주파수 영역에서 Integrated EMG(IEMG)와 Mean Power Frequency(MNF)로 분석하였다. 단축성 운동과 신장성 운동 모두에서 이두근과 삼두근의 IEMG는 증가하였고 MNF는 감소하는 경향을 보였다. 하지만 근 피로지수는 운동 방법에 따라 근의 길이가 신장되는 부위에서 더 높게 나타났다. 이러한 결과는 단축성 운동과 신장성 운동에서 근의 피로는 이두근과 삼두근에서 모두 일어나며 근의 길이 변화가 근의 피로에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

ABSTRACT

In this study, muscle fatigue of biceps and triceps during isometric exercise depending on concentric contraction and eccentric contraction was evaluated using EMG. 12 healthy male volunteers was performed concentric exercise and eccentric exercise by maximum flexion and extension of elbow joint. Integrated EMG (IEMG) in time domain and mean power frequency (MNF) in frequency domain were calculated. MNF of the biceps and triceps was decreased, whereas IEMG was increased during concentric contraction and eccentric contraction. But muscle fatigue index appeared higher at region of stretched muscle length. in this result, muscle fatigue occurs at both biceps and triceps muscle during concentric and eccentric exercise, and muscle fatigue was affected by muscle contraction and extension.

Keyword : Isometric Exercise, Muscle Fatigue, Concentric Exercise, Eccentric Exercise

접 수 일 : 2012.05.22

심사완료일 : 2012.06.04

게재확정일 : 2012.06.18

* 이영호 : 인제대학교 의용공학과 석사과정
lyh05@bse.inje.ac.kr (주저자)

정현두 : 인제대학교 의용공학과 석사과정
goda12@naver.com (공동저자)

최홍호 : 인제대학교 의용공학과 교수
hhchoi@bse.inje.ac.kr (공동저자)

문창수 : KMG 거명 대표이사 (공동저자)
kmg@km01.co.kr (공동저자)

문치웅 : 인제대학교 의용공학과 교수
mcw@inje.ac.kr (교신저자)

※ 본 연구는 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업(3차년

1. 서론

근육에 큰 부담을 주거나 근육을 혹사했을 경우 근육에 피로물질이 쌓이고 근육의 피로가 일어난다. 비침습적으로 근육의 피로를 확인하는 방법에 있어 가장 널리 이용되는 것 중 하나로 표면적극을 이용한 근전도(EMG : electromyograph) 측정방법이 있다[1]. 표면 근전도는 피부 표면에 전극을 부착하여 비침습적이고 통증이 없는 방식으로 생체 신호를 획득할 수 있으며 이를 이용하여 획득한 EMG의 분석 기법에 의해 근육의 수축과 근피로도의 간접적

도)으로 수행된 연구결과임. (과제번호 : 20110311).

인 측정에 널리 이용되고 있다[2].

EMG를 이용한 근피로도의 분석 기법에는 시간 영역에서 RMS(root mean square), aEMG(amplitude), IEMG(integral EMG) 등이 사용되고 있으며, 주파수 영역에서는 평균 파워주파수 MNF(mean power frequency), 중앙 파워주파수 MDF(median power frequency) 등이 사용되고 있다. 주파수 영역에서 EMG를 이용한 근피로도의 분석은 근 수축에 의해 근육의 피로가 발생하면 EMG 파워 스펙트럼이 왼쪽으로 이동하면서 MDF와 MNF의 값이 감소하는 것으로 관찰되었다[3]. 따라서, 근육의 피로가 발생함에 따라 EMG의 주파수는 저주파로 이동하면서 MDF와 MNF가 감소한다. 하지만 시간 영역에서의 EMG를 분석하였을 경우, 근피로도가 증가함에 따라 aEMG가 증가하며 두 변수간에 직접적인 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다[3]. 이와 같은 경우는 IEMG를 통한 분석에서도 나타나는데 근육의 피로가 증가함에 따라 IEMG가 증가하는 것으로 나타났다[4].

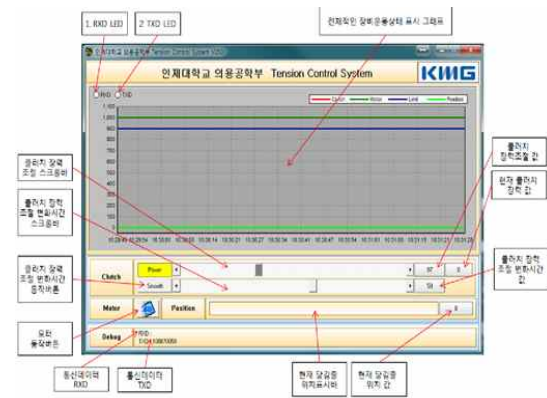
근육의 최대 수축과 신장에 의한 근피로도에 관한 기존의 다양한 연구에서 근력의 감소는 실험 프로토콜이나 사용된 근육에 따라 신장성 운동에서 더 많이 일어나거나[5, 6] 단축성 운동에서 더 많이 일어나는 것으로 관찰되었다[7, 8]. 주파수 영역에서 근피로도를 측정하였을 경우 MNF는 신장성 운동이나 단축성 운동 후 변화가 없거나[6] 단축성 운동 후에 더 큰 감소를 보이는 것으로 관찰되었다[9]. 하지만 IEMG는 단축성 운동을 할 때는 변화가 없지만 신장성 운동을 할 경우 시간이 지남에 따라 증가하는 경향을 보였다[10]. 이러한 기존의 연구들은 운동 방법과 근전도 획득 위치가 다르며 근피로도를 측정하는 분석 기법이 달라 단축성 운동과 신장성 운동 시 근피로도 변화의 패턴을 정의하기가 어렵다.

본 연구에서는 등척성 운동 시 이두근의 수축과 신장에 따른 근피로도 변화의 패턴을 EMG를 획득하여 시간 영역과 주파수 영역에서 평가하고자 한다. 이두근의 수축성 운동과 신장성 운동을 위하여 자체적으로 상지 운동기구를 개발하였다. 개발된 운동기구를 이용하여 획득한 EMG 신호는 IEMG와 MNF를 이용하여 시간 영역과 주파수 영역에서 근육의 피로를 측정하였다.

본 연구에서는 상지의 등척성 운동 및 등속성 운동이 가능하며 동시에 근육의 단축성 운동 및 신장성 운동이 가능하도록 로프를 잡아당기거나 미는 형태의 상지 운동기구를 개발하였다. 그림 1은 개발된 상지 운동기구의 내부와 부하 조절을 위한 software를 나타낸 그림이다. 시스템의 내부는 전자클러치, 모터, 로터리 엔코더, 컨트롤러로 구성되며 컨트롤러에 의해 발생된 전류에 의해 전자클러치에 다양한 전자기장을 형성시켜 로프를 잡아당기거나 밀 때 전자기장의 세기에 비례하는 부하를 가할 수 있도록 설계되었다. 대상자가 로프를 당기거나 미는 동작을 수행할 때 로프의 이동거리를 실시간으로 나타내기 위해 로터리 엔코더를 장착하였으며 실시간으로 운동 부하 조절이 가능하게 하기 위하여 PC 운동기구를 시리얼 통신을 통해 인터페이스 시켰다. 운동 부하는 0~171N의 범위 내에서 조절 가능하도록 설계하였다.



(a)



(b)

그림 1. (a) 상지 운동기구 (b) 부하 조절 소프트웨어

2. 본론

2.1 시스템 구성

2.2 실험 방법

근골격계에 이상이 없는 건강한 남성 12명(나이: 24.67±1.67)을 대상으로 실시되었다. 대상자들은 상지 운동기구와 실험 프로토콜에 대해 충분한 교육이 이루어진 뒤에 실험을 수행하였다.

그림 2는 이두근과 삼두근의 EMG 측정을 위해 근전도 전극이 부착된 위치를 나타낸 것이다. 근전도 획득을 위해 Physiolab p400 생체 신호 증폭기(Sarotech, Korea)과 Ag/AgCl의 재료의 일회용 전극(3M Red Dot™, Ont., Canada)을 이용하였다.

상지 운동기구를 이용한 상지 근육의 운동 실험 순서는 실험 1, 2, 3로 나뉜다. 먼저, 실험 1에 EMG의 획득을 위한 최적화된 근 위치를 선정하고 정상적인 EMG 획득을 위해 단축성 운동과 신장성 운동 각각 1분간의 연습훈련을 수행하였다. 실험 2에서 신체가 고정된 상태에서 팔만을 이용하여 상지 운동기구의 로프를 최대로 잡아당기는 자세를 유지하는 단축성 운동을 수행하였으며, 마찬가지로 실험 3에서 몸을 고정하고 로프를 최대로 미는 자세를 유지하는 신장성 운동을 수행하였다. 실험 2와 3은 각각 3분 동안 수행하였으며 운동부하는 64N으로 고정하였다. 실험이 진행되는 동안 근육의 최대 수축과 신장을 유지하기 위해 실험 초기의 엔코더 값의 ±10%를 벗어나지 않도록 독려하였다. 그림 3은 단축성 운동과 신장성 운동을 수행하는 모습을 나타낸 것이다.

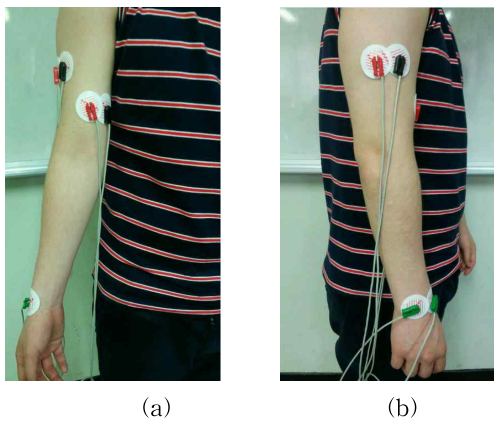
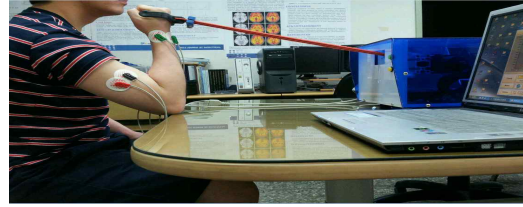


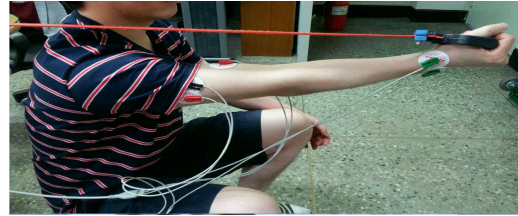
그림 2. 근전도 획득 위치 (a) 이두근 (b) 삼두근

2.3 데이터 분석

획득한 EMG 신호의 분석은 MATLAB(Math works Inc., USA)을 이용하여 시간 영역에서는 IEMG를 분석하였고 주파수 영역에서는 MNF를



(a)



(b)

그림 3. (a) 단축성 운동 (b) 신장성 운동

분석하였다. 3분간의 획득된 데이터를 분석하기 위하여 그림 4와 같이 20초 간격으로 구간을 나누어 각각의 구간별로 파라미터 값을 도출하였으며 3분간의 데이터를 20초 간격으로 분석함으로써 9개의 데이터 포인트를 갖게 되었다. 운동 시작 후 20초 동안과 운동 마지막 20초 동안의 IEMG와 MNF를 수식 (1)을 이용하여 근 피로지수를 나타내었다[11] 단축성 운동과 신장성 운동에 따라 분석된 데이터를 비교하기 위하여 SPSS version 12.0(SPSS, Inc, USA) 통계 프로그램을 이용하여 통계처리 하였다.

$$\text{근 피로지수} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\text{초기 MNF} - \text{마지막 MNF}}{\text{초기 MNF}} \\ \frac{\text{초기 IEMG} - \text{마지막 IEMG}}{\text{초기 IEMG}} \end{array} \right\} \quad \text{수식 (1)}$$

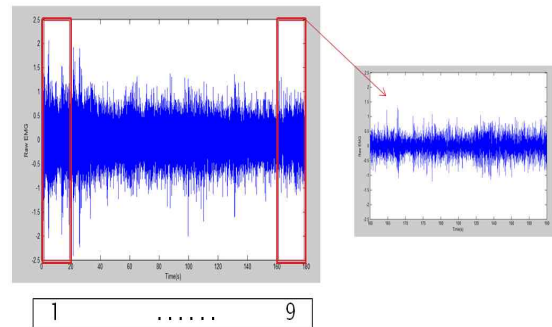


그림 4. 데이터 시간창 설정 및 분석 방법

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 근전도를 이용하여 등척성 운동 시 이두근과 삼두근의 수축과 신장에 따른 근피로

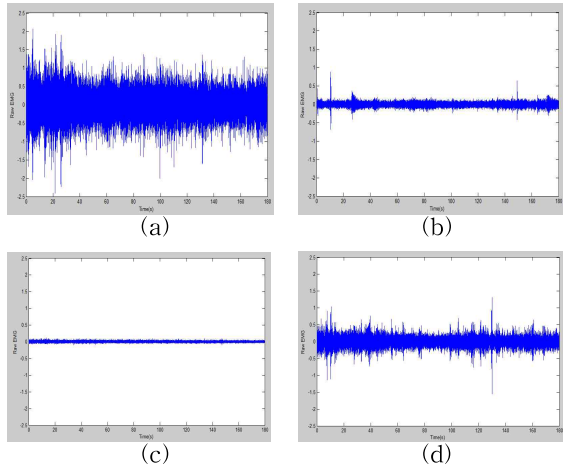


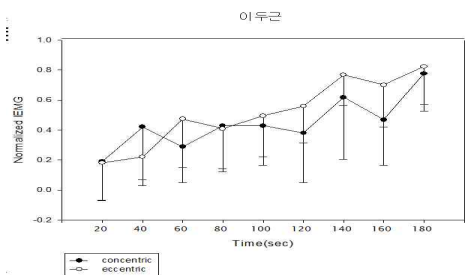
그림 5. 운동 방법에 따른 근 활성화 패턴
 단축성 운동 (a) 이두근 (b) 삼두근
 신장성 운동 (c) 이두근 (d) 삼두근

도의 변화 패턴을 시간 영역과 주파수 영역에서 비교하고자 한다. 그림 5는 단축성 운동과 신장성 운동 시 이두근과 삼두근에서 획득된 근전도의 원천 데이터를 나타낸 것이다. 단축성 운동을 수행할 때는 이두근의 활성화가 일어나고 삼두근의 경우 거의 활성화되지 않는 것으로 나타났다. 반대로 신장성 운동을 수행할 경우 삼두근의 활성화가 일어나며 이두근은 활성화가 일어나지 않는 것으로 나타났다. 이는 각각의 운동을 수행할 시 주로 활성화되는 근육이 다르고 상지의 단축성 운동은 이두근의 수축에 의존하는 것을 확인하였다.

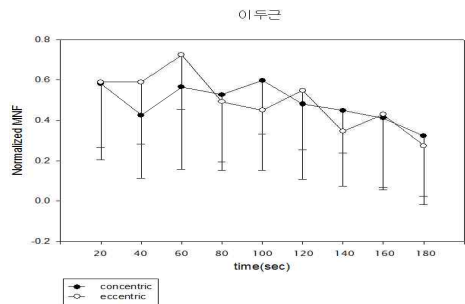
또한, 신장성 운동은 삼두근의 수축에 의해 이루어지는 것이라 사료된다.

획득한 EMG를 시간 영역과 주파수 영역에서 분석하여 그림 6과 7에 나타냈다. 분석된 EMG 파라미터는 대상자마다 스케일이 다르기 때문에 최대-최소 정규화를 시켜 나타내었다. 앞선 결과에서 이두근과 삼두근의 원천 EMG 신호 그래프에서 각각의 운동 방법에 따라 주로 사용되어지는 근육은 다르다는 것을 확인했다. 하지만 근육의 피로는 각각의 운동을 수행할 때 이두근과 삼두근 모두에서 나타나는 것으로 확인되었다.

시간 영역에서 IEMG 분석 기법을 이용하여 근피로도 변화 패턴을 측정된 결과는 단축성 운동과 신장성 운동 모두에서 시간이 지날수록 IEMG가 증가하는 것으로 나타났다. 이와 반대로, 주파수 도메인에서 MNF는 시간이 지날수록 감소하는 결과를 보였다. 이러한 결과는 기존의 선행연구와 일치하는 결과이다. 하지만, Danis 등에 의하면 무릎관절의 단축성 운동과 신장성 운동을 수행하였을 때 대퇴사두근에서 신장성 운동에서만 IEMG의 증가가 일어난다고 보고하고 있다. 이러한 결과는 본 연구의 결과와 다르게 나타나는데 본 연구와 근전도를 획득한 위치가 다르기 때문인 것이라 사료된다. 또한, 등척성 운동이 아닌 무릎관절의 단축성 운동과 신장성 운동을 수차례 반복하는 등속성 운동을 함으로써 근육의 피로를 유발하여 본 연구와는 운동방법이 다르다.

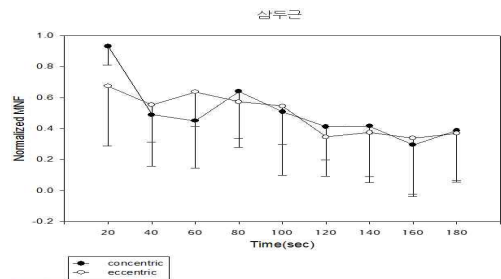


(a)

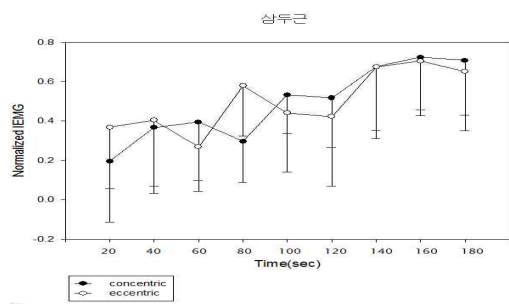


(b)

그림 6. 운동 방법에 따른 주파수 영역에서의 근 피로도 분석 (a) 이두근 (b) 삼두근



(a)



(b)

그림 7. 운동 방법에 따른 시간 영역에서의 근피로도 분석 (a) 이두근 (b) 삼두근

표 1. 주파수 영역에서의 근 피로지수

	이두근	삼두근	P-value
Concentric Exercise	0.03±0.11	0.11±0.08	0.145
Eccentric Exercise	0.07±0.15	0.05±0.19	0.362

(평균±표준편차, * : p<0.05)

표 2. 시간 영역에서의 근 피로지수

	이두근	삼두근	p-value
Concentric Exercise	0.08±0.09	1.48±5.05	0.044*
Eccentric Exercise	0.05±0.06	0.01±0.38	0.078

(평균±표준편차, * : p<0.05)

운동 방법에 따른 시간 영역에서와 주파수 영역에서의 근 피로지수의 비교를 위하여 독립표본 t 검정을 수행하여 표 1과 2에 나타내었다. 시간 영역에서 단축성 운동 시 근 피로지수가 삼두근(1.48±5.05)이 이두근(0.08±0.09)보다 유의하게 큰 것으로 나타났다. 그 외 결과들은 통계학적으로 유의하진 않지만 시간 영역에서의 신장성 운동의 경우 이두근(0.05±0.06)이 삼두근(0.01±0.38)보다 근 피로지수가 더 높게 나타나며, 주파수 영역에서의 분석에서 또한 유사한 근 피로지수 양상을 나타냈다. 단축성 운동 시 이두근의 길이는 단축되고 삼두근의 길이는 늘어나게 된다. 위와 같은 현상이 신장성 운동에서는 이두근과 삼두근에서 반대로 일어나게 된다. Fitch 와 McKenzie 등에 의하면 근의 길이가 단축된 자세에서 피로가 감소한다고 보고하고 있으며, Weir 등의 연구결과에서도 근의 길이가 단축되었을 때보다 신장된 자세에서 피로를 유발했을 때 운동 단위 동원율이 더 크다고 보고하였다[12-14]. 본 연구에서도 근의 길이가 단축되었을 경우보다 신장되었을 때 근 피로지수가 높게 나타났으며 이는 근의 길이가 근육의 피로를 유발하는데 관여를 하는 것으로 사료된다.

따라서 EMG를 통하여 근육의 피로를 간접적으로 평가하기 위해서는 근육의 종류와 운동방법에 따라 적절한 분석 기법을 선택해야 됨을 알 수 있다. 본 연구에서 분석된 데이터의 편차가 크고 일부는 운동을 수행하는 동안 MNF가 감소하거나 IEMG가 증가하는 경향을 보이지 않는 대상자도 보였다. 그 원인은 실험 수행 시 대상자의 움직임이나 외부 환

경에 의해 잡음이 EMG 신호에 영향을 미쳤을 것으로 보이며 추후 보완하여 추가 실험이 필요할 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 부하 조절이 가능한 상지 운동기구를 개발하여, 주어진 부하에서 상지의 단축성 운동과 신장성 운동에 따라 근육의 피로도 특성을 고찰하였다. 이에 다음과 같은 결론을 얻었다.

상지의 단축성 운동을 수행할 때는 이두근의 활성화가 활발히 일어나며 신장성 운동을 수행할 때는 삼두근이 활성화 된다. 하지만 단축성 운동과 신장성 운동 모두에서 근육의 피로가 축적되며 각각의 운동 방법에 따라 근육이 신장되는 부위에서 근육의 피로가 더 많이 축적되는 것으로 나타났다. 이는 운동 방법에 따라 의존하는 근육은 다르지만 두 근육의 상호 작용에 의해 운동이 수행되며, 근의 길이의 변화가 근 피로도에 영향을 미치기 때문이라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] J. Doud and J. Walsh, "Muscle fatigue and muscle length interaction: effect on the EMG frequency components," *Electromyography and clinical neurophysiology*, vol. 35, p. 331, 1995.
- [2] 박수경, 이만기, and 김현준, "하권: 운동과학 편; 축구선수와 일반인의 스쿼트운동에 따른 근 피로도 변화 비교," *한국사회체육학회지*, vol. 41, pp. 719-727, 2010.
- [3] T. Boonstra, A. Daffertshofer, J. Van Ditshuizen, M. Van den Heuvel, C. Hofman, N. Willigenburg, and P. Beek, "Fatigue-related changes in motor-unit synchronization of quadriceps muscles within and across legs," *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 18, pp. 717-731, 2008.
- [4] W. H. J. P. Linssen, D. F. Stegeman, E. M. G. Joosten, S. L. H. Notermans, M. A. van't Hof, and R. A. Binkhorst, "Variability and interrelationships of surface EMG parameters during local muscle fatigue," *Muscle & nerve*, vol. 16, pp. 849-856, 1993.

[5] P. V. Komi and H. Rusko, "Quantitative evaluation of mechanical and electrical changes during fatigue loading of eccentric and concentric work," *Scandinavian journal of rehabilitation medicine. Supplement*, vol. 3, p. 121, 1974.

[6] P. V. Komi and J. T. Viitasalo, "Changes in motor unit activity and metabolism in human skeletal muscle during and after repeated eccentric and concentric contractions," *Acta Physiologica Scandinavica*, vol. 100, pp. 246-254, 1977.

[7] M. D. Grabiner and T. M. Owings, "Effects of eccentrically and concentrically induced unilateral fatigue on the involved and uninvolved limbs," *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 9, pp. 185-189, 1999.

[8] J. Gray and J. Chandler, "Percent Decline in Peak Torque Production during Repeated Concentric and Eccentric Contractions of the Quadriceps Femoris Muscle," *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, vol. 10, p. 309, 1989.

[9] P. Tesch, G. Dudley, M. Duvoisin, B. Hather, and R. Harris, "Force and EMG signal patterns during repeated bouts of concentric or eccentric muscle actions," *Acta Physiologica Scandinavica*, vol. 138, pp. 263-271, 1990.

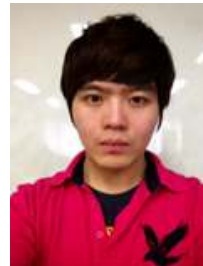
[10] R. Denis, A. Bringard, and S. Perrey, "Vastus lateralis oxygenation dynamics during maximal fatiguing concentric and eccentric isokinetic muscle actions," *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 21, pp. 276-282, 2011.

[11] 권오윤, "관절각도에 따른 근 피로도와 등척성 훈련 전이효과," *대한인간공학회지*, vol. 25, pp. 93-101, 2006.

[12] S. Fitch and A. McCOMAS, "Influence of human muscle length on fatigue," *The Journal of physiology*, vol. 362, pp. 205-213, 1985.

[13] D. McKenzie and S. Gandevia, "Influence of muscle length on human inspiratory and limb muscle endurance," *Respiration physiology*, vol. 67, pp. 171-182, 1987.

[14] J. P. Weir, T. J. Housh, and L. L. Weir, "Electromyographic evaluation of joint angle specificity and cross-training after isometric training," *Journal of applied physiology*, vol. 77, pp. 197-201, 1994.



이영호

2011년 2월 인제대학교 의용공학과 졸업 (학사)
2012년 - 현재 인제대학교 의용공학과 석사과정

관심분야 : 생체신호처리, 임베디드 시스템



정현두

2012년 2월 인제대학교 의용공학과 졸업 (학사)
2012년 - 현재 인제대학교 의용공학과 석사과정

관심분야 : 생체신호처리, 임베디드 시스템



최홍호

1984년 2월 인하대학교 전자공학과 학사 졸업
1986년 2월 인하대학교 전자공학 석사 졸업
1991년 8월 인하대학교 전자공학 박사 졸업
2012년 - 현재 인제대학교 의용공학과 정교수

관심분야 : 헬스케어, 재활치료



문 창 수

1997년 2월 부산 덕원 공업
고등학교 졸업
2012년 - 현재 KMG 거명
대표이사

관심분야 : 재활기구, 의료기기



문 치 응

1983년 2월 서강대학교 전
자공학과 학사
졸업
1985년 2월 한국과학기술원
전기전자공학과
석사 졸업
1991년 2월 한국과학기술원
전기전자공학과
박사 졸업
2012 - 현재 대한의용생체
공학회 학술이사
인제대학교 의용공
학과 부교수

관심분야 : 신호 및 영상 처리, 헬스케어