

근피로 중앙주파수를 위한 AR모델의 차수결정에 관한 연구

조 은 석*, 차 샘**, 이 기 영***

A Study on Order Decision of AR Model for Median Frequency in Fatiguing EMG

Eun Seuk Cho* , Sam Cha** , Ki Young Lee***

요 약

본 연구에서는 t-test와 ANOVA를 이용하여 근전도의 중앙주파수 추출을 위한 AR모델 차수결정 및 중앙주파수 비교에 관한 연구이다. 근전도의 근피로와 관계된 특징인자인 영교차율 및 저대역에너지, 중앙주파수를 추출하여 근피로에 이를 때까지의 변화를 평가해 봄으로써 근피로 정도나 시점까지의 변화 정도를 비교 및 고찰하였다.

ABSTRACT

In this paper, we studied on AR model order decision for extraction of EMG median frequency by t-test and ANOVA and comparison of median frequency. And we extracted well-known parameters such as zero crossing rate(ZCR), low band energy(Band) and median frequency(MDF) from surface electromyogram (EMG). And we compared to evaluate themselves as measures for fatigue.

Keywords: EMG, AR Model, Median frequency, T-test, ANOVA

1. 서 론

근육의 수축이나 신경자극이 장시간 계속되면 고통이나 피로감을 느끼게 되고, 근육 및 골격계통 부위에 누적되어 근골격계 질환의 원인이 되기도 한다. 이러한 증상을 근피로(muscle fatigue)라고 한다. 또한 근 장력을 최대로 유지할 수 있는 능력의 손실로 정의할 수 있다[1].

특히 근전도의 초기 중앙주파수(initial median frequency : IDMF)에 대해 Mortyani 등은 최대 근 수축력 100% 부하에서 피로한 근육의 기울기 감소는 근육의 초기 중앙주파수와 상당한 관련이 있다는 것을 발견하였고, 초기 중앙주파수 값이 큰 근육에서 더 빨리 피로하다고 주장하였다[2]. 근전도 중앙주파수의 회귀직선을 살펴보면 초기 중앙주파수와 기울기가, 근 섬유 조성 비율과 연관성이 있으며 근육의

* 교신저자 관동대학교 대학원 전자통신공학과 (eunseuk017@hanmail.net)

** 관동대학교 대학원 전자통신공학과 (ssam@kd.ac.kr)

*** 관동대학교 의료공학과 (kylee@kd.ac.kr)

접수일자: 2009년 12월 24일, 수정일자: 2010년 2월 4일, 심사완료일자: 2010년 2월 19일

지구력과 근육의 피로감수성의 예측이 가능하다[3].

근육의 수축을 계속 유지하거나 이완과 수축을 되풀이 하여 근피로가 높아지면 근육에 젖산이 쌓이는 등의 생리화적인 변화가 발생한다. 이러한 생리화적인 변화를 이용하여 근피로를 측정하는 방법에는 근력측정법[4], 혈류측정법[5], 젖산측정법[6] 등이 있다. 또한 근피로가 높아질수록 근전도 전력스펙트럼 주파수 성분들의 분포는 점차 저주파수대역의 전력이 증가하는 반면, 상대적으로 고주파수대역의 전력은 감소하는 특징이 있다.

본 연구에서는 근피로 측정과 예측을 위한 피로인자로서 비교적 선형적인 하강천이를 보이는 MDF(median frequency)를 AR모델로 추출하여 근피로 시점까지의 변화 정도를 관측하였다. 그리고 FFT에 의한 중앙주파수와 기울기를 비교하여 효율성등을 t-test 검정과 ANOVA검증을 통하여 FFT와 AR모델의 기울기 평균을 통계적으로 유의한지 알아보하고자 한다.

구한 후 근피로 측정과 예측을 위한 피로인자로서 비교적 선형적인 하강천이를 보이는 MDF를 2차, 4차, 7차의 AR모델로 추출하여 근피로 시점까지의 변화 정도를 관측한다. FFT에 의한 중앙주파수와 비교하여 효율성등을 고찰하고 t-test 검정과 ANOVA 검증을 통하여 FFT와 AR모델의 기울기 평균을 통계적으로 유의한지를 알아보았다.

2-1. 연구대상

근전도를 측정할 실험대상은 병역이 없는 20대 남자 5명과 여자 5명이다. 이 지원자들은 건강한 20대의 남녀 대학생 10명이다. 표 1은 실험 대상자들의 나이, 키 및 몸무게 등의 특성을 보이고 있다. 평균 신장은 163.9cm, 체중은 57.7Kg이었다. 그들이 피로하여 소진할 때까지 등장성운동을 하는 동안 근전도를 측정하였다.

II. 실험 및 방법

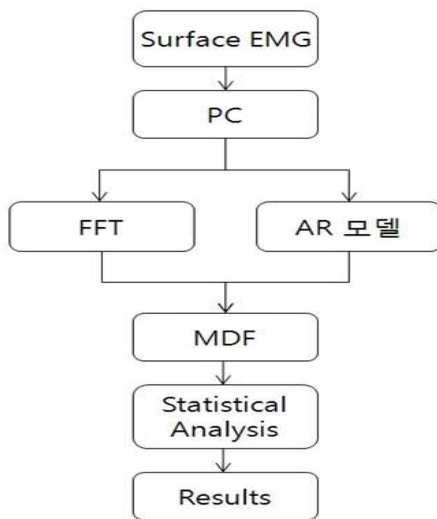


그림 1. 실험과정의 순서도
Fig 1. Flowchart of the experimental procedure

표 1. 피검자의 특징 (평균±표준편차)
Table 1. Measured subject characteristics (mean±s.d.)

General characteristics	Males (n=5)	Females (n=5)	All (n=10)
Age(years)	24.3±1.2	24.0±3.5	24.2±2.3
Height(cm)	171.2±4.7	156.7±3.5	163.9±8.8
Mass(Kg)	67.2±1.4	48.1±2.5	57.7±10.6

2-2. 실험 프로토콜

근전도 신호를 기록하기 위해 상용 근전도계(MA-3000-16, Motion Lab System, Inc. USA)를 사용하였다. 상완이두근의 국소적 근육피로를 측정하기 위해 피검자의 윗팔을 몸에 고정시켜 매트리스에 맞추어 25회/분의 속도로 부하를 등장성 수축/이완을 하였다. 부하는 피검자마다 근력 측정 장비 MMT(Manual Muscle Test, Lafayette instrument, USA)를 이용하여 상완이두근의 최대근력을 측정하고 그 값의 10%로 하였다. 또한 샘플링주파수는 1,080Hz로 하였으며, 운동의 종료시점은 피검자가 더 이상 운동을 수행할 수 없는 근피로에 이르렀을 때

그림 1과 같이 근전도의 신호를 FFT와 AR모델로

로 하였다.

2-3. 데이터 분석

기록된 근전도는 2.4초 간격마다 등장성 운동에서 수축과 이완을 반복하므로 이들 신호를 모두 포함할 수 있는 4초 간격으로 4초 구간의 Hanning 윈도우를 씌운 다음 FFT와 AR모델에 의해 전력스펙트럼의 데이터 파일을 구축하였다. ZCR은 근전도 신호의 DC bias 혹은 기준선 변이를 피하기 위해 미분된 근전도 신호의 영교차수를 추출하였다. FFT에 의한 전력 스펙트럼에서 Band는 25-36Hz 대역의 에너지를 계산하였으며, $MDF(f_{med})$ 는 FFT와 AR모델에 의한 전력 스펙트럼 $P(k)$ 에서 다음 식과 같이 계산하여 추출하였다.

$$MDF(f_{med}) = \frac{\sum_{k=0}^{f_{med}} P(k)}{\sum_{k=0}^{f_s/2} P(k)} = \frac{1}{2} \quad (1)$$

III. 결과 및 고찰

3-1. 3가지 정규화 피로인자의 비교

그림 2은 중앙주파수(MDF), 영교차수(ZCR) 및 저대역에너지(Band)를 초기 값을 정규화하여 비교한 것이다. 여기서 종료시점(Final Point)은 근피로 시점으로 3가지 정규화된 피로인자들의 교점으로 나타나고 있다. 그러나 이들의 변화 곡선들은 미리 초기 값과 최종 값인 근피로시의 값들을 알고 정규화한 것이다. 즉, Band는 최종의 근피로 시점의 값을 미리 알고 정규화 하였고, 나머지의 초기 값은 일률적으로 정규화 할 수 있으나 근피로 시점의 값은 미리 알 수 없기 때문에 근피로 시점을 예측하기에는 부적절하였다.

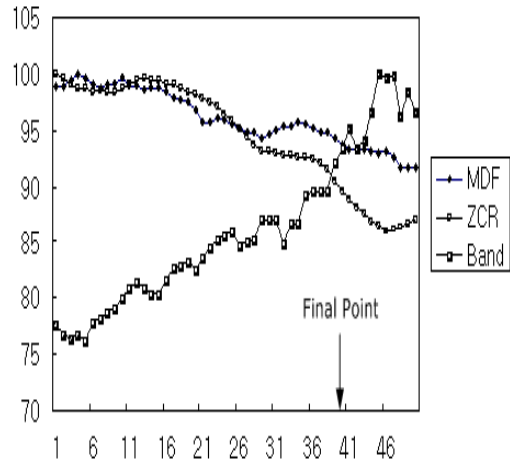


그림 2. 정규화한 세 가지 피로인자
Fig 2. Normalization lines of three fatigue parameters

3-2. 근전도의 중앙주파수 비교

표 2은 남성 피검자들의 근전도 중앙주파수로 나타낸 표이고, 표 3은 여성 피검자들의 근전도 중앙주파수로 나타낸 표이다. 즉 피검자들의 근전도 신호를 가지고 중앙주파수를 비교 관찰해 보았다.

M1~M5은 다른 5명의 남자의 근전도 신호를 가지고 중앙주파수를 10개로 나타낸 것이고, F1~F5은 다른 5명의 여자의 근전도 신호를 가지고 중앙주파수를 10개로 나타낸 것이다.

표 2에서 보듯이 남자의 중앙주파수가 여자의 중앙주파수 보다 전체적으로 크다는 것을 알 수 있다.

표 2와 표 3의 근전도 중앙주파수를 ANOVA 검증의 일원배치법으로 비교해 보았다. 이때 유의수준은 0.05로 하였다.

표 4와 같이 ANOVA 검증 통하여 나온 결과는 각각의 피검자의 중앙주파수에서는 유의성이 없었고 ($P>0.05$), 같은 피검자의 중앙주파수에서는 유의성이 있었다($P<0.05$).

표 2. 남성 피검자의 중앙주파수 변화
Table 2. Changes of median frequencies of male subjects

	M1	M2	M3	M4	M5
1	77.0	83.5	74.4	74.2	71.0
2	75.3	80.1	76.9	72.3	68.8
3	72.5	77.5	77.7	72.4	66.4
4	74.0	74.3	72.5	72.3	66.3
5	72.0	73.2	71.5	69.3	64.5
6	70.2	69.9	67.1	67.0	62.0
7	66.1	66.6	63.3	62.8	58.9
8	67.2	63.6	55.4	61.6	60.5
9	63.5	59.7	52.6	59.9	59.0
10	61.5	54.2	49.8	55.8	54.2

표 3. 여성 피검자의 중앙주파수 변화
Table 3. Changes of median frequencies of female subjects

	F1	F2	F3	F4	F5
1	68.0	72.8	70.5	69.3	78.0
2	68.8	68.4	71.0	68.7	78.4
3	66.5	70.7	71.1	66.3	69.7
4	65.9	68.0	71.8	65.9	70.9
5	63.7	69.7	70.0	67.6	65.0
6	63.0	67.3	69.0	66.8	66.0
7	63.5	65.5	68.8	62.8	63.2
8	60.2	65.3	68.9	63.8	62.1
9	59.4	62.5	66.8	61.8	59.6
10	58.9	60.8	67.4	61.3	59.1

표 4. 중앙주파수의 ANOVA 검증
Table 4. ANOVA test of the median frequency

	ANOVA	각각 다른 피검자
P(T<=t) 단측 검정	0.7739961	
	ANOVA	같은 피검자
P(T<=t) 단측 검정	0.0006037	

3-3. FFT와 AR모델의 기울기 비교

표 5는 피검자들의 FFT와 AR모델의 차수(2, 4, 7 차)에 따라 추출한 기울기를 나타낸 표이다.

FFT와 AR모델의 기울기를 통하여 t-test 검정의 이분산 가정 두집단과 ANOVA 검증의 일원배치법으로 비교해 보았다. 이때 유의수준은 0.05로 하였다.

표 6와 같이 t-test 검증과 ANOVA 검증 통하여 나온 결과는 FFT와 AR(2차)모델은 유의성이 없고 (P>0.05), FFT와 AR(4차)모델은 유의성이 있고 (P<0.05), FFT와 AR(7차)모델은 유의성이 없었다 (P>0.05)

표 5. 각 방법에 따른 중앙주파수 기울기들의 비교
Table 5. Comparison of the slopes of the median frequency using different methods

	FFT	AR (2차)	AR (4차)	AR (7차)
M1	-0.241	-0.349	-0.391	-0.345
M2	-0.073	-0.194	-0.214	-0.186
M3	-0.396	-0.452	-0.650	-0.441
M4	-0.177	-0.400	-0.48	-0.378
M5	-0.169	-0.313	-0.467	-0.300
F1	-0.089	-0.203	-0.235	-0.199
F2	-0.159	-0.224	-0.423	-0.212
F3	-0.119	-0.203	-0.262	-0.190
F4	-0.280	-0.411	-0.477	-0.364
F5	-0.638	-0.696	-0.819	-0.714

표 6. FFT와 AR모델의 T-검증
Table 6. T-test of FFT and AR-model(2, 4, 7th order)

	FFT	AR모델(2차)
P(T<=t) 단측 검정	0.141073854565241	
	FFT	AR모델(4차)
P(T<=t) 단측 검정	0.0398694809436802	
	FFT	AR모델(7차)
P(T<=t) 단측 검정	0.175296833816021	

IV. 결론

본 연구에서는 중앙주파수, 영교차율 및 대역에너지를 추출하여 소진할 때까지의 추세선과 운동의 종료시점에서의 피로인자 값들을 비교 평가하여 다음의 결론을 얻었다.

첫째, 중앙주파수와 영교차율의 회귀직선은 근피로 종료시까지 서서히 감소하며, 저대역 에너지는 증가하는 모습을 알 수 있다.

둘째, 근전도의 중앙주파수를 ANOVA 검증의 일원배치법으로 비교해 했을 때, 각각의 피검자의 중앙

주파수에서는 유의성이 없었고($P>0.05$), 같은 피검자의 중앙주파수에서는 유의성이 있었다($P<0.05$).

셋째, FFT 중앙주파수와 AR모델 차수의 중앙주파수를 t-test 검정의 이분산 가정 두집단 및 ANOVA 검정의 일원배치법으로 비교해 했을 때, 4차($P<0.05$) AR모델이 유의성이 있었다.

따라서, FFT로 구한 중앙주파수보다 AR모델로 중앙주파수를 관측할 때 신뢰성이 더 높다고 사료되고, AR모델 중 4차가 제일 신뢰성이 높다.

앞으로는 피검자를 더 증가시키고 통계적 자료를 이용하여 보다 일반적인 근피로 변화에 대한 고찰이 필요하며, 부분적인 선형회귀선을 적용하여 근피로에 다다랐을 때 변화정도를 더 실험하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] A. B. Ritter, S. Reisman, and B. B. Michniak, Biomedical Engineering Principles, Taylor & Francis, 2005.
- [2] T. Moritani, A. Nagata, and M. Muro, "Electromyographic manifestations of muscular fatigue", Med. Sci. Sports Exer., vol. 14, no. 3, pp. 198-202, 1982
- [3] 옥준영, "등장성 운동시 근전도 중앙주파수 변화에 대한 회귀직선의 신뢰도 평가". 석사학위논문, 연세대학교대학원, 2000년
- [4] R. Merletti, L. R. Lo Conte, and C. Orizio, "Indices of muscle fatigue", J. of Electromyography, Kinesiology, vol. 1, no. 1, 1991.
- [5] J. L. Olive, J. M. Slade, G. A. Dudley, and K. K. McCully, "Blood flow and muscle fatigue in SCI individuals during electrical stimulation", J. Appl. Physiology, vol. 94, no. 2, pp.701-708, 2003.
- [6] 정일규, 윤진환, Human Performance & Exercise Physiology, 대경북스, 404-412쪽, 2006년.
- [7] 조은석, 차샘, 주장규, 이기영, "근전도에서 AR모델에 의한 중앙주파수의 통계적 비교에 관한 연구", 한국정보전자통신기술학회 춘계종합학술대

회, 93-96쪽, 2009년 5월.

저자약력

조 은 석 (Eun Seuk Cho) 정희원



2008년 2월 관동대학교
정보통신공학과 (공학사)
2008년 2월 관동대학교 대학원
전자통신공학과 (공학석사)

<관심분야> 정보통신, 의공전자

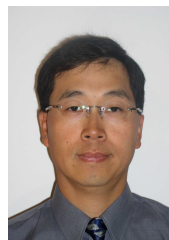
차 샘 (Sam Cha) 정희원



2008년 2월 관동대학교
정보통신공학과 (공학사)
2008년 2월 관동대학교 대학원
전자통신공학과 (공학석사)

<관심분야> 정보통신, 의공전자

이 기 영 (Ki Young Lee) 정희원



1992년 2월 명지대학교
전자공학과 (공학박사)
2008년 2월 성균관대학교
생명공학과 박사수료
1993년~현재 관동대학교
의료공학과 교수

<관심분야> 의용전자 및 생체 신호처리,
기계 요소학, 디지털 신호처리