Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 4 pp.667-671, August 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.4.667

런 검정을 사용한 근전도 신호의 안정성 평가 시 분할 크기가 신호의 안정성에 미치는 영향

조 영 진 · 김 정 룡

한양대학교 산업경영공학과

Effects of Segmentation Size on the Stationarity of Electromyographic Signal in Runs Test

Young-Jin Cho, Jung-Yong Kim

Department of Information and Industrial Engineering, Hanyang University, Ansan, 426-791

ABSTRACT

Runs test is a mathematical tool to test the stationarity of electromyographic (EMG) signals. The purpose of this study is to investigate the effects of segmentation size on the stationarity of EMG signals in runs test. Six subjects participated in this experiment and performed isometric trunk exertions for twenty seconds at the load level of 25% and 50% MVC. The signals extracted from the erector spinae muscles were divided into the intervals of 1000ms and the stationarity of the signal in each interval was tested by the runs test. In this test, seven segmentation sizes such as 1.0, 2.0, 3.9, 7.8, 15.6, 31.3 and 62.5ms were applied. Additionally, two stationarity tests of reverse arrangements test and modified reverse arrangements test were used to verify the results of the runs test. In results, the segmentation size of 62.5ms showed the similar results with the other stationarity tests. However, the stationarity values among there tests were different each other when segmentation sizes other than 62.5ms were used. These results indicated the effect of segmentation size in runs test that needs to be considered to have consistent and sensitive result in stationarity test.

Keywords: Electromyographic signal, Stationarity, Runs test, Reverse arrangements test, Modified reverse arrangements test

1. 서 론

런 검정(runs test)은 근전도 신호의 안정성을 평가하는데 사용하는 주요한 도구 중의 하나이다. 이러한 런 검정은 근육의 피로를 분석하거나 근전도 신호를 수리적으로 모델링하기 위한 초기 단계로 근전도 신호의 안정성을 평가한다(Shwedyk, et al., 1977; Stulen and De Luca, 1981; Merletti, et al., 1989; Lo Conte and Merletti, 1995; Merletti and Lo Conte, 1995; Farina and Merletti, 2000; Farah, et al., 2006; Coorevits, et al., 2008).

런 검정은 근전도 신호의 랜덤성을 평가하는 원리를 이용하여 근전도 신호의 안정성 여부를 판단한다. 이를 위해 분석하려는 근전도 신호를 여러 개의 구간으로 분할하고, 각 구간의 평균이나 분산을 계산한다. 그리고 난 후, 런의 개수를 계산하고, 아래 식을 이용하여 Z-값을 계산하고, Z-검정을 실시하여 신호의 랜덤성을 평가한다. 이 때, 런(runs)은 같은 부호를 가지고 있는 연속적인 데이터의 집합으로

교신저자: 김정룡
주 소: 426-791 경기도 안산시 상록구 사3동, 전화: 017-702-5266, E-mail: jungkim@hanyang.ac.kr

정의된다(Siegel and Castellan, 1988).

$$Z = \frac{r + h - (2N_1N_2/N) - 1}{\sqrt{[2N_1N_2(2N_1N_2 - N)]/[N^2(N-1)]}}, \quad (1)$$

r = 신호 내에 있는 전체 런의 개수
N_1 = (+) 부호를 가지고 있는 데이터의 개수
N_2 = (−) 부호를 가지고 있는 데이터의 개수
N = 전체 데이터의 개수
h = 0.5 if $[(2\,N_1\,N_2/N)+1] > r$
h = −0.5 if $[(2\,N_1\,N_2/N)+1] < r$.

런 검정이 신호의 안정성을 평가하는 기법으로 널리 사용됨에도 불구하고 많은 연구자들이 런 검정을 사용할 때 제시하고 있는 결과들은 서로 일치하지 않는 모습을 나타내고 있다(Inbar and Noujaim, 1984; Paiss and Inbar, 1987; Shankar, et al., 1989; Kim, et al., 2005). 심지어는 런 검정의 신뢰성에 대한 지적을 하는 연구도 있었다(Beck et al., 2006). 이러한 현상은 런 검정 적용 시에 고려되어야 할 다른 요소가 있을 수 있다는 의문을 제기하게 한다. 런 검정의 사용법에 따르면 런 검정은 분석하려는 신호를 여러 개의 구간으로 분할하여 테스트를 하도록 되어 있다. 그러나 분할 크기를 얼마로 하는 것이 가장 좋은가에 대한 어떠한 가이드라인도 제시되어 있지 않다.

본 연구의 목적은 런 검정을 사용할 때 분석하려는 신호에 적용된 분할 크기가 근전도 신호의 안정성 평가에 미치는 영향을 정량적으로 분석하는 것이다.

2. 연구방법

2.1 실험참가자

과거 요통 관련 질환이 없었고, 현재 허리에 대한 통증이 없다고 응답한 6명의 대학원생이 실험에 참가하였다. 키는 평균 171.0cm, 표준편차 3.5cm였고, 몸무게는 평균 60.8kg, 표준편차는 5.5kg이었다.

2.2 연구장비

등척성 수축(isometric contraction) 조건 하에서 허리 근육의 근전도 신호를 수집하기 위하여 isometric trunk exertion frame(ITEF)을 사용하였다(그림 1). 실험참가자의 maximum voluntary contraction(MVC)를 측정하고, 일정한 수준의 %MVC를 유지하도록 하기 위하여 500kgf 용량의 Bongshin Loadcell 500DBBP와 Digital Indicator BS−300A를 사용하였다. 2채널로부터 근전도 신호를 추출하기 위하여 Coulborn Instruments 사의 근전도 측정 시스템을 사용하였고, 샘플링 주파수는 1,024Hz였다.

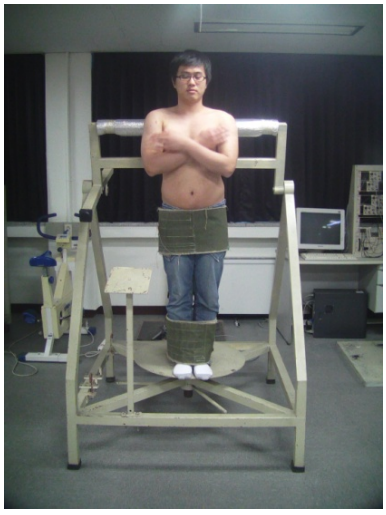

그림 1. ITEF(isometric trunk exertion frame)

2.3 실험계획

등척성 수축 상황에서 허리 근육의 신호를 추출하고, 신호의 분할 크기에 따른 신호의 안정성을 평가하기 위해 %MVC(2수준: 25 %MVC, 50 %MVC), 신호의 분할 크기(7수준: 1.0, 2.0, 3.9, 7.8, 15.6, 31.3, 62.5ms)를 독립변수로 하고, 신호의 안정성을 종속변수로 한 2−factor 2 ×7 within−subjects design을 설계하였다. 근전도 신호는 허리의 척추세움근(erector spinae muscle)으로 부터 추출하였다.

2.4 실험과정

실험참가자는 실험 시작 전에 실험에 대한 주의사항을 듣고 간단한 스트레칭을 통해 근육을 이완시켰다. 그 후 ITEF에 올라 편안하게 선 자세를 유지하였다. 다리와 엉덩이 부분을 고정시키고, 5초간 세 번의 MVC를 측정하고 평균값을 MVC로 사용하였다. 실험참가자는 중립 자세에서 20초 동안 25 %MVC, 50 %MVC의 힘을 각각 유지하였고, 그 때의 근전도 신호를 추출하였다.

2.5 분석방법

허리 근육으로부터 추출된 20초 크기의 근전도 신호를

1초 크기로 분할하여 총 240개의 근전도 신호를 만들었다. 각 근전도 신호의 안정성은 runs test(RT), reverse arrangements test(RA test), modified reverse arrangements test(MRA test)를 사용하여 평가되었다(Siegel and Castellan, 1988; Charles, 2006). 런 검정의 경우, 1초 구간의 데이터를 7개의 분할 크기(1.0, 2.0, 3.9, 7.8, 15.6, 31.3, 62.5ms)로 적용하여 검정을 실시하고, 그 결과는 RA test, MRA test를 적용한 결과와 비교되었다. 데이터 분석은 SAS 9.12, MATLAB 2007a 버전을 사용하였다.

3. 연구결과

런 검정을 사용하여 신호의 안정성을 평가할 때, 힘의 수준(load), 분할 크기(segment size)에 따른 신호의 안정성에 대한 분산분석 결과는 표 1에 제시되었다. 분산분석 결과, 근전도 신호의 안정성은 신호의 분할 크기에 따라 통계적 유의성이 크게 나타났다. 그러나 힘의 수준에 따라서는 유의수준 5%에서 신호의 안정성에 대해 유의성이 나타나지 않았다. 분할 크기에 따른 수준별 영향을 분석하기 위하여 Tukey's HSD test를 실시하였고, 결과는 그림 2에 제시되었다. 이 결과로부터 분할 크기가 62.5ms, 3.9ms, 31.3ms의 순으로 신호의 안정성이 높게 나타났다. 그러나 1.0ms, 2.0ms의 분할 크기에서는 모든 신호가 비안정성을 나타냈다.

런 검정 결과와 다른 안정성 평가 기법 결과를 비교하기 위하여 240개의 신호에 RA test와 MRA test를 각각 적용하였다. 표 2는 분할 크기를 변화시키며 런 검정을 적용했을 때의 신호의 안정성 평가 결과와 RA test, MRA test를 사용했을 때의 안정성 평가 결과를 나타낸다. RA test와 MRA tests를 사용하여 신호의 안정성을 평가한 결과 실험에서 사용한 240개의 근전도 신호는 안정성이 매우 높은 신호로 평가 되었고, 런 검정과 비교해 볼 때 62.5ms의 분할 크기를 사용한 경우가 안정 신호를 안정 신호로 잘 검출하는 것으로 나타났다.

표 1. 런 검정을 사용하여 평가한 분산분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	*P*-value
Load	1	0.01	0.01	0.66	0.454
Segment size	6	9.79	1.63	50.05	0.001*
Load × Segment size	6	0.17	0.03	2.09	0.085

*p<0.01

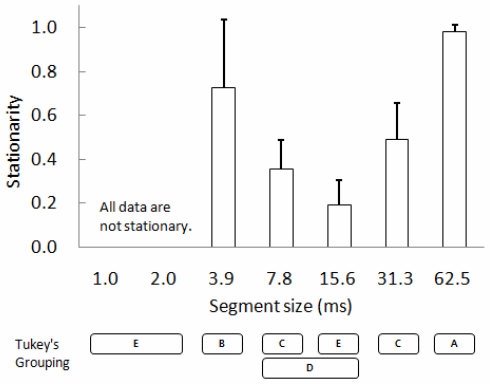

그림 2. 분할 크기에 따른 신호의 안정성 및 Tukey's HSD test 결과

표 2. 평가 기법에 따른 신호의 안정성 비교 결과

Stationarity tests		Ratio (%)
Reverse arrangements test		100.0
Modified reverse arrangements test		86.3
Runs test	1.0ms	0.0
	2.0ms	0.0
	3.9ms	72.7
	7.8ms	35.6
	15.6ms	19.2
	31.3ms	49.1
	62.5ms	97.9

4. 토 의

본 연구에서는 근전도 신호의 안정성을 테스트하기 위해 널리 사용되고 있는 런 검정을 다른 안정성 평가 기법(reverse arrangements test, modified reverse arrangements test)과 비교하고, 분석 시 사용되고 있는 분할 크기가 런 검정결과에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 실험결과로부터 런 검정은 분할 크기를 어떤 크기로 선택하여 사용하느냐에 따라 신호의 안정성의 결과가 매우 다르게 나타났다.

최근까지 대부분의 연구는 런 검정을 신호의 안정성을 손쉽게 검증할 수 있는 하나의 도구로 사용해 왔지만 그에 대한 문제점을 다루고 있지 않고 있다. Beck, et al.(2006)은 시뮬레이션을 통해 얻은 신호를 이용하여 런 검정에 대해 안정성 평가 여부를 검증하였다. 이 결과에서 그들은 분할 크기를 1ms로 사용하였으나, 테스트된 신호가 안정 신

호임에도 불구하고 모든 신호를 비안정 신호로 평가하였다. 그들은 이 결과를 토대로 런 검정이 신호의 안정성을 검출하는 적절한 도구로 사용될 수 있는가에 문제점을 제기하였지만 그들은 런 검정을 적용할 때 분할 크기에 따라 신호의 안정성이 달라질 수 있음을 간과하였다. 그 외 대부분의 런 검정을 사용한 연구에서는 분할 크기를 어떻게 사용했는지에 대한 결과를 밝히고 있지 않아 본 실험과 직접적으로 비교를 할 수는 없었다.

실험에서 분석된 근전도 신호는 분할 크기가 커짐에 따라 그림 3과 같은 패턴을 주로 나타냈다. 신호 1과 신호 2는 임의로 추출된 다른 패턴의 신호로써 신호 1, 2의 경우, 분할 크기가 5ms, 40ms 이상의 구간에서 신호가 안정적인 성질을 나타낸다는 것을 알 수 있었다.

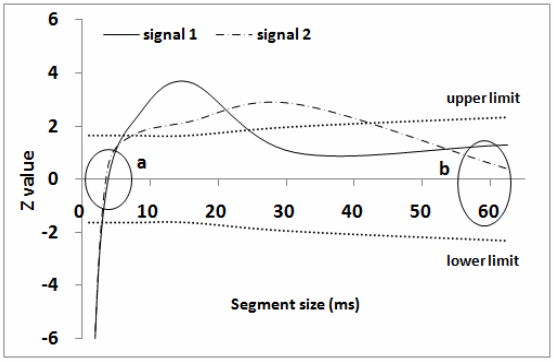

그림 3. 분할 크기에 따른 런 검정의 Z 값 변화

그림 3은 같은 신호를 대상으로 런 검정을 분석할 때 분할 크기에 따라 다른 신호의 안정성이 다르게 나타날 수 있음을 제시하는 대표적인 결과이다. 위의 그래프에서 예시한 신호 1, 신호 2의 경우 외에도 다른 대부분의 신호가 위와 비슷한 패턴을 지니고 있었다. 모든 신호는 그래프의 a, b 위치에서 신호를 안정적으로 해석하고 있는 특징을 보였다. 이 결과는 런 검정이 안정된 신호를 안정 신호라고 판별할 수 있는 능력을 지니기 위해 a, b 근처 구간의 분할 크기를 사용하는 것이 유리함을 의미한다. 그러나 이 결과가 비안정 신호를 비안정이라고 판별할 수 있는 능력이 있다는 것을 의미하지는 않는다.

본 연구의 결과에서는 근전도 신호의 안정성 평가 기법으로 널리 사용되고 있는 런 검정의 성질을 정확히 이해하고 올바르게 사용하기 위한 문제를 제기하고 바르게 적용하기 위한 방법을 제안하였다. 추후 런 검정이 비안정 신호를 비안정으로 평가할 수 있는 능력에 대한 연구가 추가검증이 필요할 것으로 예상되고 이를 통해 신호의 안정성 검사 도구로 사용되고 있는 런 검정의 성질을 더욱 잘 이해할 수 있을 것으로 기대한다.

5. 결 론

본 연구에서는 근전도 신호의 안정성을 평가하는 대표적인 도구 중의 하나인 런 검정을 대상으로 분석 시 사용되는 신호의 분할 크기가 안정성 결과에 미치는 영향을 분석하였다. 연구결과, 분할 크기는 런 검정의 평가결과에 큰 영향을 미치고 있었으며, 62.5ms의 분할 크기를 사용할 때 다른 평가 기법과 비슷한 정도의 안정성 평가결과를 나타내고 있는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 런 검정을 올바르게 사용하기 위한 중요한 자료로 활용될 것으로 기대한다.

참고 문헌

Beck, T. W., Housh, T. J., Johnson, G. O., Weir, J. P., Cramer, J. T., Vardaxis, V., Johnson, G. O., Coburn, J. W., Malek, M. H. and Mielke, M., An examination of the runs test, reverse arrangements test, and modified reverse arrangements test for assessing surface EMG signal stationarity, *Journal of Neuroscience Methods*, 156(1-2), 242-248, 2006.

Charles, S. L., *Signal processing of random physiological signals*, Morgan & Claypool Publishers, 2006.

Coorevits, P., Danneels, L., Cambier, D., Ramon, H., Druyts, H., Karlsson, S. J. and Moor, G. D., Vanderstraeten G. Correlations between short-time Fourier- and continuous wavelet transforms in the analysis of localized back and hip muscle fatigue during isometric contractions, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18, 637-644, 2008.

Farah, G., Hewson, D. J. and Duchéne, J., Surface electromyography as a tool to assess the responses of car passengers to lateral accelerations: Part I. Extraction of relevant muscular activities from noisy recordings, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(6), 669-676, 2006.

Farina, D. and Merletti, R., Comparison of algorithms for estimation of EMG variables during voluntary isometric contractions, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(5), 337-349, 2000.

Inbar, G. F. and Noujaim, A. E., On surface EMG spectral characterization and its application to diagnostic classification, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 31, 597-604, 1984.

Kim, J. Y., Jung, M. C. and Haight, J. M., The sensitivity of autoregressive model coefficient in quantification of trunk muscle fatigue during a sustained isometric contraction, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(4), 321-330, 2005.

Lo Conte, L. and Merletti, R., Advances in processing of surface myoelectric signals: Part 2, *Medical and Biological Engineering and Computing*, 33(3), 373-384, 1995.

Merletti, R. and Lo Conte, L., Advances in processing of surface

myoelectric signals: Part 1, *Medical and Biological Engineering and Computing*, 33(3), 362-372, 1995.

Merletti, R., Balestra, G. and Knaflitz, M., "Effect of FFT based algorithms on estimation of myoelectric signal spectral parameters", *Proceedings of the 11th Annual Conference of the IEEE on Engineering in Medicine and Biology*, 1024-1025, Seattle. WA. 1989.

Paiss, O. and Inbar, G. F., Autoregressive modeling of surface EMG and its spectrum with application to fatigue, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 34, 761-770, 1987.

Shankar, S., Gander, R. E. and Brandell, B. R., Changes in the myoelectric signal (MES) power spectra during dynamic contractions, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 73, 142-150, 1989.

Shwedyk, E., Balasubramanian, R. and Scott, R. N., A nonstationary model for the electromyogram, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 417-424, 1977.

Siegel, S. and Castellan Jr, N. J., *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*, 2nd ed., New York: McGraw-Hill, 1988.

Stulen, F. and De Luca, C., Frequency parameters of the myoelectric signal as a measure of muscle conduction velocity, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 28(7), 515-523, 1981.

저자 소개

조 영 진 soulian@hanyang.ac.kr

한양대학교 대학원 산업공학과 박사수료
현 재: 한양대학교 대학원 산업공학과 박사과정
관심분야: 생체역학, 생리신호처리, 인체공학디자인

김 정 룡 jungkim@hanyang.ac.kr

The Ohio state University 산업공학과 박사
현 재: 한양대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 생체역학, 인지심리학, 인체공학디자인

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2010년 06월 09일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 07월 12일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 07월 12일