

관절질환 진단을 위한 슬관절음의 음향학적 분석

Acoustical analysis of knee sound for diagnosis of articular pathology

김거식*, 이상옥*, 진성철**, 문창호**, 장영순**, 한명석**, 엄은철**, 권종대**, 조두환**, 정명석**, 송철규***

K. S. Kim, S. O. Lee, S. C. Jin, C. H. Moon, Y. S. Jang, M. S. Han, E. C. Um, J. D. Kweon, D. H. Cho, M. S. Jung and C. G. Song

Abstract - Considerable noise is sometimes associated with degeneration of the knee joint surface. Such noise may indicate roughness or softening of the cartilage surfaces, and may be a useful index for early disease. In this study, we have evaluated arthritic pathology using the acoustical analysis of knee joint sounds. During sitting and standing periods, subjects' active knee flexion and extension were monitored. Fundamental frequency, mean amplitude of pitch, jitter and shimmer were analyzed according to the position and the joint angle. The result showed that the fundamental frequency of the 2nd patient group and standing position was higher than the others, and that the pitch of sounds changed unstably. These results suggest that an analysis of knee joint sound might assist non-invasive diagnosis of an articular pathology

Key Words : Knee joint sound, pitch, jitter, shimmer

1. 서론

관절 질환의 진단을 위해 사용되는 방법은 내시경 수술을 이용한 침습적인 방법과 X-Ray, CT, MRI 영상을 통한 비침습적인 방법이 있으며, 최근에는 수술로 인한 환자의 고통을 줄이고 적용이 쉬운 비침습적인 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이 중 청진법은 주로 MRI, 내시경 수술 등과 병행하여 진단을 위한 보조 도구로서 사용되고 있다. 하지만, 기존의 진단 방법들은 질환에 따른 음향학적 요소들 간의 차이를 정량적으로 제시하지 못하고 있기 때문에 질병에 대한 최종 진단은 주로 임상 의사 개인의 주관적인 경험이나 능력에 따라 달라질 수 있다. 이를 극복하기 위해 객관화되고 전산화된 음향 분석 방법을 이용하여 질환을 진단하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2,3]. 이 중 관절 질환 진단을 위해 음향적인 분석 방법을 적용한 연구는 주로 악관절에 집중되어 있다[4,5,6]. 본 연구에서는 관절 운동에 따른 슬관절음의 주파수와 크기에 대한 음향학적인 변수들을 도출하고 정상인과 환자 그룹과의 차이점을 분석하였다.

2. 전처리 알고리즘

수집된 슬관절음에서 불필요한 잡음을 제거하기 위해 전처리 알고리즘을 사용하였다(그림 1). 청진기를 이용하여 수집된 신호는 850 Hz 저역 통과 필터와 60 Hz 노치 필터를 통과하며 잡음을 제거하였다. 또한, 관절음의 의미있는 에너지는

주로 1kHz 이하의 저주파 대역에 분포하므로 신호의 DC 성분은 제거하고 피치를 강조하기 위해서 1차 디지털 필터를 이용하였다[7]. 마지막으로, 관절 운동 각 사이클의 주기를 일정하게 하기 위해 동적시간신축(Dynamic Time Warping) 방법을 이용하여 시간축을 정규화 하였다[8].

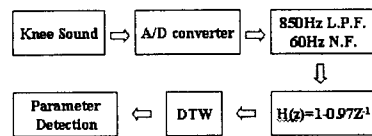


그림 1 전처리 알고리즘

2. 실험 대상 및 방법

2.1 실험 대상

슬관절 질환은 가진 환자들 중에서 슬관절 외상으로 반월상 연골이나 전십자 인대의 열상이 있어 정형외과의 수술적 치료가 필요했던 환자들을 실험 제 1군으로 선정하였고, 골관절염으로 진단되었던 환자들을 실험 제2군으로 선정하였으며, 슬관절에 이상이 없는 정상인을 대조군으로 선정하였다.

표 1 실험 대상

	대조군	실험 제 1군	실험 제 2군
병명	없음	관절 손상에 의한 수술 필요	골관절염 질환
연령	28.3±2.3	30.2±10.3	42.1±16.2
(남/여)	(4/2)	(5/1)	(2/3)

저자 소개

- * 學生會員 : 全北大學 電子工學科 碩士課程
- ** 學生會員 : 全北大學 電子情報工學部 學士課程
- *** 正會員 : 全北大學 電子情報工學部 助教授

2.2 데이터 수집

전자 청진기(SP-S1, 한벨 메디텍, Korea)를 이용하여 슬관절음을 수집하고, A/D 컨버터를 이용하여 수집된 신호를 컴퓨터에 저장하였다. 샘플링 주파수는 1.7kHz, 해상도는 12비트이다. 또한, 전자 각도계를 이용하여 관절의 운동 각도를 측정하였으며 전자 청진기와 피부의 접촉면에 실리콘 젤을 발라서 접촉면에서 발생하는 잡음을 최소화하였다.

해부학적인 위치를 고려하여 슬개골 측면에 전자 각도계를 부착하고, 전자 청진기의 횡격막을 슬관절 부위에 접촉시켜 하지 운동에 따라 발생하는 음향 신호를 수집하였다.

실험 대상자는 대퇴골과 경골의 각도를 직각으로 유지한 상태로 좌위(sitting) 자세에서 슬관절의 굴곡 및 신전 운동을 총 20초간 3회 실시하였다. 관절의 굴곡 운동에서 신전 운동까지를 한 사이클로 명하며 관절 운동 속도는 2 sec/cycle로 일정하게 유지하도록 하며, 관절 운동 각도는 해부학적 정위치를 기준으로 하였을 때 굴곡 90°에서 0°의 범위에서 실시하였다. 기립위(standing) 자세에서 위와 동일한 방법을 이용하여 관절 운동을 수행하고 데이터를 수집하였다

2.3 음향학적 파라미터 도출

본 연구에서는 슬관절음에서 도출한 음향학적인 파라미터는 평균 주파수(F_0), 평균 피치 크기(A_0), Jitter, shimmer이며 각각의 계산식은 아래와 같다. (P_i 는 피치 주기, A_i 는 피치 크기, N 은 전체 피치의 개수) 평균 주파수(F_0)는 피치 주기의 역수의 평균값을 의미하며, 평균 피치 크기(A_0)는 피치의 평균 크기를 의미한다. Jitter와 shimmer는 값이 커질수록 시간의 흐름에 따라 피치 주기와 진폭이 불규칙적인 양상을 나타냄을 의미한다.

$$F_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{P_i} \quad A_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 20 \log(A_i)$$

$$Jitter = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |P_i - P_{i+1}|}{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N P_i}$$

$$Shimmer = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |A_i - A_{i+1}|}{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N A_i}$$

3. 결과 및 고찰

3.1 자세에 따른 파라미터 비교

각 그룹의 좌위와 기립위에서의 특징 변수를 추출하고 unpaired T-test와 ANOVA test를 이용하여 통계적인 차이를 비교하였다. 실험 결과, 대조군에서는 자세에 따른 변수들의 평균값에 차이가 있었으나 통계적인 의미는 없었으며 ($p < 0.05$), 환자 제 1군은 기립위에서의 F_0 , Jitter가 좌위에 비해 컸으며 환자 제 2군에서는 기립위에서의 F_0 , Jitter, Shimmer가 좌위보다 컸다($p < 0.05$). 실험군의 경우 기립위에서의 슬관절음 피치의 기본 주파수와 주기, 진폭 변동이 좌위에서보다 더 크고 불규칙한 형태를 보이는데 이는 슬관절 운동에 관여하는 대퇴골이나 슬개골 부위에 체중으로 인하여 관절이나 근육에 더 많은 스트레스가 가해지기 때문이다.

표 2 특징 파라미터 비교

		F_0 (Hz)	Jitter (%)	A_0 (dB)	Shimmer (%)
대조군	좌 위	# 175 (115)	# 53 (26)	0.87 (4.84)	# 36 (20)
	기립위	# 210 (122)	# 57 (23)	0.74 (4.45)	# 40 (20)
실 험 제 1군	좌 위	*# 140 (105)	*# 45 (23)	0.69 (3.54)	# 43 (18)
	기립위	*# 179 (111)	*# 51 (20)	0.39 (1.91)	# 36 (15)
실 험 제 2군	좌 위	*# 182 (120)	*# 55 (25)	0.56 (3.29)	*# 40 (19)
	기립위	*# 235 (120)	*# 62 (23)	0.47 (3.10)	*# 44 (18)

(): S.D.

*: 좌위와 기립위 비교, $p < 0.05$

#: 그룹별 비교, $p < 0.05$

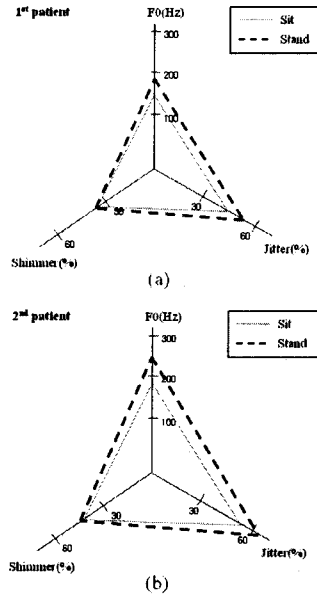


그림 2 자세별 특징 파라미터 (a) 환자 제 1군, (b) 환자 제 2군

3.2 그룹에 따른 파라미터 비교

각 자세에서의 그룹별 특징 변수를 추출하고 그룹별로 비교하였다. 실험 결과, F_0 , Jitter, shimmer에서 통계적인 의미가 있었으며 A_0 를 제외한 모든 변수에서 자세에 관계없이 환자 제 1군의 값이 다른 그룹에 비해 작게 나타났다($p < 0.05$). 대조군과 환자 제 2군을 비교하면, 좌위와 기립위에서 환자 제 2군의 F_0 , jitter, shimmer가 대조군에 비해 큰 값을 보였다($p < 0.05$). 실험을 통해 자세에 관계없이 환자 제 2군의 기본 주파수가 대조군과 환자 제 1군에 비해 큰 값을 보였는데 이는 관절 전 부분에 염증을 갖고 있는 환자 제 2군의 슬관절음이 부분적인 관절 손상을 가진 환자 제 1군에 비해 피치 변동이 크다는 것을 의미한다. 그 이유는 환자 제 1군의 경우 관절 내 구조물의 불안정성으로 관절 사이의 접촉이 적거나 관절강 내에 삼출액, 혈액이 마찰계수를 줄였기 때문이다

두 가지 실험 결과를 종합하면, 기립위 자세일수록, 또는 골관절염 환자(환자 제 2군)일수록 슬관절음의 기본 주파수와 피치 변동이 크게 나타나서 신호가 불안정한 양상을 보이며, 기립위 자세에서 관절 운동을 하는 경우에는 슬관절에 체중이 가해지기 때문에 좌위 자세와 비교할 때 슬관절 운동에 관여하는 대퇴골이나 슬개골 부위의 관절이나 근육에 더 많은 부하가 가해지게 되어 슬관절음의 피치 변동이 커지는 것을 알 수 있다.

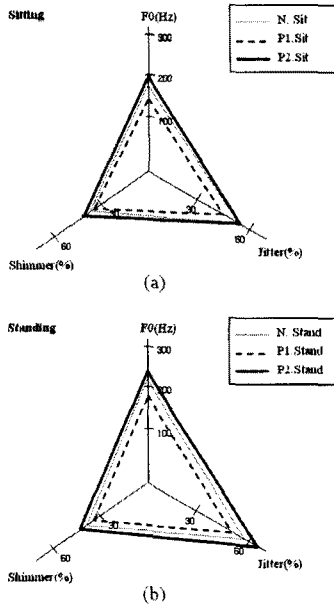


그림 3 그룹별 특징 파라미터 (a) 좌위, (b) 기립위

4. 결 론

본 연구에서는 슬관절의 신진, 굴곡 운동 시 발생하는 음향 신호를 수집하여 특징 변수를 추출하고 통계적인 방법을 이용하여 결과를 해석하였다.

실험 결과, 기립위 자세이거나 골관절염 환자(환자 제 2군)일수록 슬관절음의 기본 주파수와 피치 변동이 크게 나타나서 신호가 불안정한 양상을 보이는데 이는 슬관절 운동에 관여하는 대퇴골이나 슬개골 부위에 체중으로 인하여 관절이나 근육에 더 많은 스트레스가 가해지기 때문이며 그 결과 슬관절음의 피치 변동이 커지는 것을 알 수 있다. 본 연구를 통하여 슬관절 병변 시 청진음을 분석하여 질환의 유무와 종류에 따라 서로 다른 음향학적 특징을 보였으며, 이를 바탕으로 슬관절의 청진음이 슬관절의 감별 진단과 예후 판정에 도움이 될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] C. G. Song, J. M. Kim and M. H. Lee, "Perturbation analysis of EGG for Detecting Laryngeal Pathology", IEEE EMBS Conf. proceedings, pp. 1344-1345, 1994.
 [2] A. Kandaswamy, C. S. Kumar, R. P. Ramanathan, S.

Jayaraman and N. Malmurugan, "Neural classification of ling sounds using wavelet coefficients", Computers in Biology and Medicine, vol. 34, pp. 523-537, 2004.
 [3] I. S. Moon, H. K. Choi, C. H. Lee, K. Y. Park and J. K. Kim, "Classification of asthma disease using thoracic data", Malsori, vol. 49, pp. 135-144, 2004.
 [4] J. F. Prinz and K. W. NG, "Characterization of sounds emanating from the human temporomandibular joints", Archs oral Biol., vol. 41, no. 7, pp. 631-639, 1996.
 [5] A. Akan and R. Basar, "Time-frequency analysis and classification of temporomandibular joint sounds", J. of the Franklin Institute, vol. 337, pp. 437-451, 2000.
 [6] T. Sano, S. E. Widmalm, P. L. Westesson, K. Takahashi and H. Yoshida, "Amplitude and frequency spectrum of temporomandibular joint sounds from subjects with and without other signs/symptoms of temporomandibular disorders", Oral Rehabilitation, vol. 26, pp. 145-150, 1999.
 [7] C. B. Frank, R. M. Rangayyan and G. D. Bell, "Analysis of knee joint sound signals for non-invasive diagnosis of cartilage pathology", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, vol. 9, pp.65-68, 1990.
 [8] C. Myers and L. R. Rabiner, "Performance tradeoffs in dynamic time warping algorithms for isolated word recognition", IEEE trans., vol. ASSP-28, no. 6, pp. 575-582, 1980.