

슬관절 청진음의 주파수 특성에 대한 연구

The Spectral properties of Knee Joint Sounds

김거식*, 윤대영**, 이명권***, 송창훈***, 김지선***, 박성수***, 김종진***, 김윤정***,
이길성***, 이민희***, 채민수***, 김민주***, 송철규****

Keo-Sik Kim, Dae-Young Yoon, Myung-Gwon Lee, Chang-Hun Song, Ji-Sun Kim, Seong-Su Park,
Jong-Jin Kim, Ji-Hun Kim, Gil-Seong Lee, Min-Hee Lee, Min-Su Chae, Min-Ju Kim and Chul-Gyu Song

Abstract - The aim of this study was to analyze the characteristics of knee joint sound in frequency domain and classify the knee joint diseases. The spectral analysis of knee joint sounds was performed using LPC(Linear Predictive Coding) and Wigner-ville distribution. Ten normal subjects and 5 patients with meniscal tearing were enrolled. Each subject was seated on a chair and underwent active knee flexion and extension for 60 seconds. Sampling frequency was 10kHz and electronic stethoscope and electro-goniometer were applied during the knee motion for data collection. The spectral analysis showed 3 peaks in both groups and the difference energy distribution in time-frequency domain. These results suggest that the diagnosis of knee joint pathology using the auscultation could be easier and more correct.

Key Words : knee joint sound, LPC, time-frequency distribution

1. 서 론

최근 노인 인구가 증가함에 따라 노화 현상으로 인하여 슬관절의 퇴행성 질환 환자가 동반하여 증가하고 있는 추세이다. 이러한 슬관절의 퇴행성 질환의 진단에 있어서 기본적인 이학적 검사로 시진, 촉진, 타진, 청진 등의 방법이 사용되어질 수 있으나 이중 청진법은 주로 심장이나 폐질환의 진단을 위하여 사용되고 있으며 관절질환의 진단에 있어서는 널리 사용되고 있지 못하다. 하지만, 악관절에 대해서는 악관절에서 발생하는 음향 신호의 분석을 통하여 관절 질환의 진단 및 예후를 알아보기 위한 연구가 보고되고 있으며, 관절음의 주파수와 진폭 등의 특징 요소를 분석하여 관절음을 구분하는 연구들도 보고되고 있다[1][2][3][4].

이에 본 연구에서는 정상인과 환자를 대상으로 슬관절음의 음향 분석 방법을 이용하여 주파수의 특성 및 패턴을 분석하여 슬관절음의 주파수 분포 차이를 알아보고자 하였다.

2. 연구 대상 및 방법

2.1 연구 대상

2003년 3월부터 동년 11월까지 전북대학교 병원에 내원한 환자들 중에서 슬관절의 이학적 검사와 자기공명영상(MRI) 검사를 실시하여 슬관절의 반월상 연골 손상을 진단받은 환자 18명(남자 10명, 여자 8명)을 실험군, 슬관절과 고관절 질환의 기왕력이 없으며 슬관절의 움직임에 이상이 없는 정상인 10명(남자 9명, 여자 1명)을 대조군으로 선정하였다.

2.2 데이터 수집 방법

슬관절음과 슬관절의 운동 각도를 측정하기 위해 전자청진기(SP-S1, 한별 메디텍)와 전자각도계를 이용하였으며, A/D 변환기(DT-9801, Data Translation, USA)를 이용하여 디지털 신호로 변환하였다. 샘플링 주파수는 10kHz, 해상도는 12비트이다.

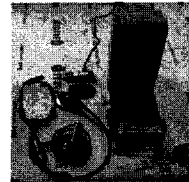


그림 1. 관절음 수집 장치

슬관절의 운동 각도를 측정하기 위하여 하지의 슬개골 측면에 전자각도계를 부착하고, 전자 청진기의 황격막을 슬관절에 접촉시켜 슬관절음을 수집하였다. 이때 전자 청진기와 슬관절의 접촉면에서 발생하는 잡음을 제거하기 위해 실리콘패드를 청진기와 슬관절 사이에 위치시켰다.

대상자는 대퇴골과 경골의 각도를 직각으로 유지한 상태로 의자에 앉아서 2sec/cycle 정도의 속도를 유지하면서 슬관절의 굴곡 및 신전 운동을 총 60초간 실시하였다.



(a) 굴곡 -90° (b) 굴곡 0°

그림 2. 관절음 수집 방법

저자 소개

*학생회원 : 全北大學 電子工學科 碩士課程

**正 會員 : 全北大學 메카트로닉스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

3. 결과 및 고찰

3.1 중심주파수 추출

잡음을 제거하고 관절 운동의 한 사이클 동안 발생하는 음향 신호의 특징 패턴을 추출하기 위해 ensemble 평균법과 3차 LPC 연산을 수행하였다.

먼저, 마찰에 의한 잡음 신호와 피검자들로부터 수집된 관절음의 특징 주파수의 분포를 비교하였다. 잡음 신호의 경우, 100Hz~120Hz사이에서 한 개의 피크점이 검출되었으며 이를 F0라 명하였으며, 피검자로부터 수집된 슬관절음으로부터 총 3개의 피크점이 발생하였으며, 각각을 F0, F1, F2라 명하였다.

슬관절음을 측정하는 도중에 피부와 청진기 사이의 마찰에 의한 잡음 성분이 함께 수집되기 때문에 슬관절음 고유 패턴을 찾기가 힘들지만, ensemble 평균법을 이용하여 잡음 성분을 제거하면 관절이 운동하는 한 사이클에서의 고유 패턴을 검출할 수 있다.

그림 3.(b)는 피검자가 슬관절 운동을 1 사이클 수행하였을 때 검출된 고유 패턴이며 시간축에서 0~1초에서는 신전 운동, 1~2초 사이에서는 굴곡 운동을 수행한 결과이다.

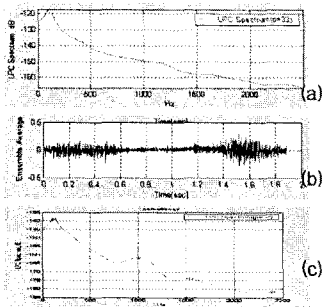


그림 3. 잡음성분과 슬관절음의 피크점 추출; (a) 잡음성분의 LPC spectrum; (b) 슬관절음의 특징 패턴, (c) LPC spectrum

각각의 음향 신호로부터 추출된 특징 주파수의 존재 영역은 잡음 성분의 경우 평균은 114.64Hz이며 표준편차는 13.32 Hz이었다. 슬관절음의 경우, 특징 주파수의 평균은 F0는 124.11Hz이며 F1은 965.74Hz, F2는 1562.05Hz이었다.

위의 결과로부터 슬관절음의 LPC spectrum상에서의 특징 주파수를 추출하였고, 표준편차를 고려하여 각각의 영역을 설정하였다. 특징 주파수 각각의 존재 영역은 F0는 100~150Hz, F1은 900~1000Hz, F2는 1500~1600Hz이었다.

표 1. 슬관절음의 특징 주파수 분포

주파수	단위 : Hz		
항목	F0	F1	F2
잡음	114±13	-	-
관절음	124±17	965±50	1562±57
영역	100~150	900~1000	1500~1600

3.2 대조군과 실험군의 주파수 특성

정상인과 환자의 주파수 분포 차이를 비교하였으며 각 그룹에서 중심 주파수의 평균은 표 2와 같다. 통계적인 결과로부터 특징 주파수 분포 영역에서의 주파수 평균은 실험군이 대조군보다 조금 큰 값을 갖지만 그룹 간에 통계적인 의미는

없다(p<0.05). 표준 편차는 실험군에서 더 크게 나타났는데, 이는 실험군의 경우 관절의 손상으로 인하여 관절의 모양이나 상태가 저마다 달라서 환자마다 조금씩 다른 주파수 특징을 갖기 때문이다.

표 2. 대조군과 실험의 특징 주파수 분포

주파수	단위 : Hz		
항목	F0	F1	F2
대조군 (n=10)	120.4±13	967±42	1539±33
실험군 (n=18)	126±19	964±56	1577±65
평균	124±17	966±50	1562±57

그림 4는 대조군과 실험군의 LPC spectrum상의 차이점을 분석한 것이다. 그룹별 특징 패턴을 비교하면, 대조군의 관절음은 굴곡과 신전운동 시 각도가 -30°인 부근에서 에너지가 집중되었다. 이는 관절의 마찰에 의한 음향 신호로서 관절 운동의 1 사이클 동안에 대칭적으로 나타난다.

실험군의 경우에는 환자의 질환에 따라 각각 다른 패턴을 나타냈다. 이는 환자 각각의 관절 질환, 슬관절의 구조나 상태의 변형 등에 의한 것으로, 반월상 연골의 앞쪽 부분이 손상된 환자는 신전 운동을 하는 동안에 에너지가 집중되었으며, 뒤쪽 부분이 손상된 환자는 굴곡 운동 시 유사한 현상이 나타났으며, 그 크기는 정상인의 경우와 비교하였을 때 약 2.3배정도 크게 나타났다. 그림 4의 (c)에서 나타난 데이터는 반월상 연골의 앞쪽 부분이 손상된 환자이며 슬관절의 신전 운동 시 0~0.8초 사이에서 신호의 에너지가 집중된다. LPC spectrum에서 특징 주파수 영역에서 벗어난 지점에서 피크점이 발생하며, 환자의 상태에 따라서 조금씩 다르게 나타났다.

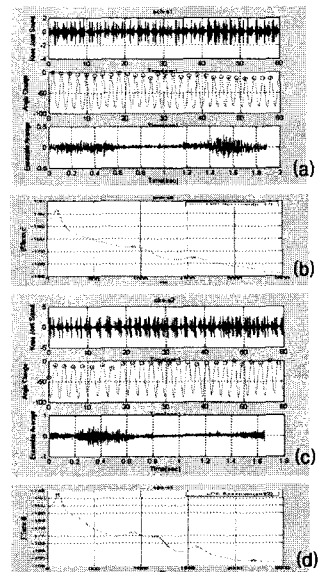


그림 4. 각 그룹의 특징 패턴 및 주파수 분포; (a) 대조군의 특징 패턴, (b) LPC spectrum; (c) 실험군의 특징 패턴, (d) LPC spectrum

그림 5는 관절의 각도에 따라 변화하는 슬관절의 음량을 데시벨(dB) 단위로 나타낸 것이며 -30°부근에서 음량이 급격히 증가함을 알 수 있다. 이는 실험 대상자의 대퇴골과 경골의 각도가 해당 각도를 이룰 때 두 곳 사이에서 가장 큰 마찰음이 발생함을 의미하며, 이를 이용하여 슬개골에 있는 반월상 연골의 손상 부위나 손상 정도를 예측할 수 있다.

또한, 영역별 관절음의 대표값을 비교하였을 때 연골이나 관절의 손상 부위나 정도를 판단할 수 있을 것으로 생각된다. 대조군의 분석 결과로부터, 관절의 운동 영역에서 발생하는 슬관절음의 평균 음량(dB)을 비교할 때 영역 4에서는 -19 dB의 크기를 보이고 영역 7에서는 -16 dB의 크기를 갖으며 슬관절의 각도가 -15°에서 -30°를 이루는 부위에 관절의 마찰이 발생하는데 이는 각 관절 사이에 존재하는 연골의 마찰로 인해 발생하는 잡음에 의한 것이다. 환자군의 경우 영역 5와 영역 6에 비해 영역 3과 영역 4 사이에서 큰 피크점이 발생하는데 대조군의 영역 3의 평균값과 비교 하였을 때 7 dB 차이를 보이며, 이는 슬관절이 신전 운동을 하는 동안에 관절의 마찰이 커지며 신전 운동에 관여하는 연골 부위가 손상되었음을 의미하는 것으로 생각된다. 또한, 슬관절이 굴곡 운동을 하는 영역 6에서부터 영역 10에 걸쳐서는 슬관절음의 크기가 점차 증가하지만 피크점은 발생하지 않는데, 이것은 반월상의 외측 연골은 정상 상태이므로 슬관절의 굴곡 운동 시에는 연골에 큰 마찰을 일으키지 않은 상태에서 관절이 운동하기 때문으로 생각되며 이때 발생하는 관절음은 각 관절의 움직임에 의해 발생하는 잡음에 의한 것으로 생각된다.

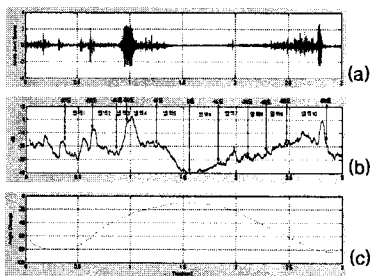


그림 5. 관절의 각도 변화에 따른 음량(dB) 변화;
(a) 슬관절음, (b) 음량(dB), (c) 관절의 각도 변화

3.3 대조군과 실험군의 시주파수 분포

슬관절의 운동에 따라 발생하는 슬관절음의 시간축 상에서의 피크점을 중심으로 위그너-빌 함수를 이용하여 시주파수 분석을 실시하였다. 대조군에서의 에너지 분포는 10 Hz 이하의 주파수 영역대에 집중되며 환자군에서는 대조군에 비하여 높은 주파수 대역인 30-200 Hz에서 에너지가 집중되었다. 이는 대조군의 경우 대퇴골과 경골, 슬개골 사이에 존재하는 연골에 의하여 슬관절의 운동에 따른 대퇴골과 경골의 마찰이 줄어들기 때문이며, 반월상 연골의 내측 부분이 손상된 환자군의 경우 슬관절 운동 시 손상된 연골로 인하여 골 사이의 마찰계수가 높아지기 때문에 정상인에 비해 높은 주파수 대역에 에너지가 집중되는 것을 알 수 있다.

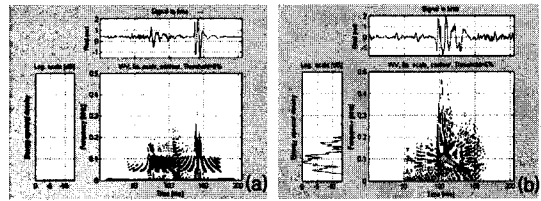


그림 6. 대조군과 실험군에서의 시주파수 분포 ;
(a) 대조군, (b) 실험군

4. 결론

본 연구에서는 대조군과 실험군에서 얻은 슬관절음으로부터 LPC spectrum을 이용하여 특징 주파수를 추출하였고 spectrum상의 차이점을 비교하였다. 또한 ensemble 평균법을 이용하여 시간축 상에서의 특징 패턴을 검출하였으며, 대조군과 실험군에서 시주파수 영역에서의 에너지 분포 차이를 비교하였다. 이를 바탕으로 하여 슬관절에서 발생하는 음향 신호를 센싱하고 신호의 주파수 분포와 패턴을 분석함으로써 청진을 이용한 슬관절 질환의 진단이 보다 용이해지고 정확해 질 수 있으며, 향후 보다 많은 정상인과 환자군에서 데이터를 수집하면 슬관절에서 발생하는 슬관절음을 음향 분석적으로 접근하여 관절질환을 진단하는 데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

참고 문헌

- [1] Prinz J. F. and NG K. W., "Characterization of sounds emanating from the human temporomandibular joints", Arch. oral Biol., vol.41, pp.631-9, 1996.
- [2] Sano T., Widmalm S. E., Westesson P. L., Takahashi K. and Yoshida H., "Amplitude and frequency spectrum of temporomandibular joint sounds from subjects with and without other signs/symptoms of temporomandibular disorders", J. Oral Rehabil., vol.26, pp.145-50, 1999.
- [3] Azkan A. and Basar R., "Time-frequency analysis and classification of temporomandibular joint sounds", J. Franklin Institute, vol.337, pp.437-451, 2000.
- [4] Ogutcentoller M., "Sound analysis of temporomandibular joint derangement with phonographic recordings", J. Prosthet. Dent., vol.89, pp.311-8, 2003.
- [5] Drum R. and Litt M., "Spectral analysis of temporomandibular joint sounds", J. Prosthet. Dent, vol.58, pp. 485-94, 1987.
- [6] Gay T. and Bertolami C. N., "The acoustical characteristics of the normal temporomandibular joint". J. Dent. Res., vol.67, pp.56-60, 1988.
- [7] Hutta J. L., Morris T. W., Katzberg R. W., Tallents R. H. and Espeland M. A., "Separation of internal derangements of the temporomandibular joint using sound analysis". Oral. Surg. Oral. Med. Oral. Pathol., vol.63, pp.151-7, 1987.