

슬관절음의 각도별 피치 변동에 대한 분석

The Pitch Perturbation of Knee Joint Sounds according to Angle movement

김거식*, 윤대영**, 서정환***, 김정섭****, 송철규*****

Keo-Sik Kim, Dae-Young Yoon, Jeong-Hwan Seo, Kyeong-Seop Kim and Chul-Gyu Song

Abstract - In this study, we have evaluated and classified arthritic pathology using the auscultation of knee joint sound. Six normal persons and 11 patients with knee problem were enrolled. Six patients of Group 1 needed an orthopaedic surgery because of the ruptured wounds of meniscus or ACL(Anterior Cruciate Ligament) and 5 patients of Group 2 diagnosed as osteoarthritis. Subjects were taken knee flexion and extension being seated in a chair for 20 seconds which repeated 3 times. Also subjects stood up and sit down repeatedly in the same way. After the movement of knee was divided into 18 degrees, the pitch perturbation according to partial degrees was analyzed and the DTW(Dynamic Time Warping) method was applied for normalizing a time-axis and unpaired t-test was used for statistic results among groups. As a result, the amplitude and frequency perturbations of group 2 was higher than group 1($p < 0.05$) and showed a characteristic 'w-shape' in angle-amplitude graph. These results suggest that the analysis of knee joint sound might assist in early diagnosis of knee joint disease.

Key Words : knee joint sound, frequency perturbation, amplitude perturbation, DTW

1. 서론

의료 현장에서 환자의 진찰을 위한 이학적 검사로 시진, 촉진, 타진, 청진 등의 방법이 사용되고 있으며, 이 중 청진을 통해 수집된 데이터를 음향 분석 방법을 이용하여 객관화되고 전산화 된 값으로 질환을 분류하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 시간 축에서의 에너지 크기와 신호의 진폭, 지속시간 등의 특징 요소들을 추출하여 악관절에서 발생하는 음향 신호를 click, creak, crepitus로 분류하고, 위그너-빌 분포를 이용하여 시주파수 공간에서의 악관절음의 특징 변수를 검출하는 방법이 보고되었다[1][2]. 악관절에 피에조마이크를 부착하여 주파수 공간에서 중심 주파수를 추출하고 악관절 질환을 갖고 있는 그룹과 그렇지 않은 그룹간의 주파수 분포의 차이를 구하고자 하는 연구도 보고되었다[3]. 본 연구에서는 DTW기법과 전자 각도계를 이용하여 슬관절의 굴곡, 신전 운동에 따라 발생하는 음향 신호의 시작점과 끝점을 검출하고 각 사이클에 대한 시간 간격을 정규화 하였으며, 수집된 슬관절음의 주파수 변동과 진폭 변동을 해석하고 그룹간의 차이를 분석하고자 한다[4].

2. 피치 변동 알고리즘

수집된 신호는 잡음 제거를 위해 850 Hz 저역통과 필터와 60 Hz notch 필터를 통과하며, 1차 디지털 필터를 이용하여

잡음을 제거하고 시간축을 정규화하기 위해 DTW 기법을 이용한다.

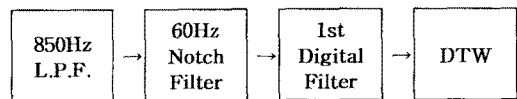


그림 1 1차 처리 알고리즘

그림 2는 각도에 따라 변하는 슬관절음의 피치 변동을 분석하기 위한 파라미터들이다. 전자각도계를 이용하여 추출된 관절의 운동 각도에 따라 운동각을 분할하고 분할된 범위에서의 관절음의 피치 변동을 분석한다. 시간의 변화에 따라 파라미터 P_i , A_i 를 추출하고, 각도별 ΔF , ΔA 를 구한다[5].

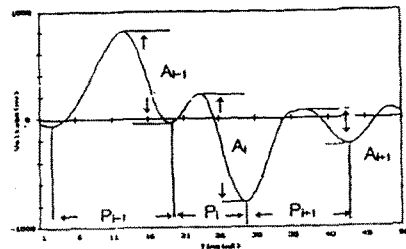


그림 2 각도별 피치 변동을 분석하기 위한 파라미터

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
- ***正會員 : 全北大學 再活醫學科 副教授
- ****正會員 : 建國大學 醫學工學部 助教授
- *****正會員 : 全北大學 電子情報工學部 助教授

3. 연구 대상 및 방법

3.1 연구 대상

2004년 2월부터 동년 6월까지 전북대학교 병원에 내원한

환자들 중에서 슬관절의 이학적 검사와 자기공명영상(MRI) 검사를 실시하여 슬관절 질환이 있는 환자 11명을 실험군으로 선정하고, 다시 이들은 슬관절 외상으로 반월상 연골이나 전십자 인대의 열상이 있어 수술적 치료가 필요했던 제 1군과 골관절염으로 진단되었던 제 2군으로 나누었으며, 슬관절과 고관절 질환의 기왕력이 없으며 슬관절의 움직임에 이상이 없는 정상인 6명을 대조군으로 선정하였다.

3.2 데이터 수집 방법

슬관절에서 발생하는 음향 신호의 수집을 위해 고성능 피에조 폴리머센서를 이용한 전자청진기(SP-S1, 한별 메디텍)를 이용하였으며, A/D 변환기(MP-100, Biopac systems, USA)를 이용하여 수집된 디지털 신호를 변환하여 컴퓨터에 전송하였다. 샘플링 주파수는 1.7kHz, 해상도는 12비트이며, 슬관절 운동 각도를 측정하기 위하여 전위차계와 각도계를 조합하여 자체적으로 제작한 전자 각도계를 사용하였고, 실리콘 젤을 이용하여 마찰로 인한 잡음을 제거하였다.

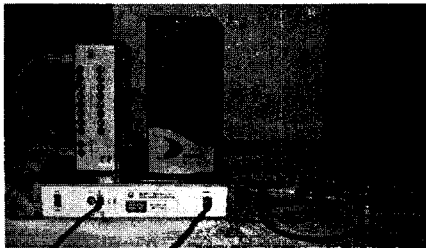
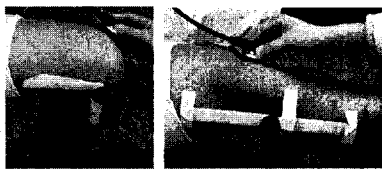


그림 3 관절음 수집 장치

관절의 굴곡 운동에서 신전 운동까지를 한 사이클로 명하며 피검자는 메트로놈을 이용하여 좌위(sitting) 상태에서 2 sec/cycle 정도의 속도를 유지하면서 관절의 굴곡과 신전 운동을 20초간 총 3회 실시하고, 기립위(standing) 자세에서도 동일한 운동을 반복한다. 이때 굴곡 운동의 관절 각도는 0°에서 90° 사이를 유지하도록 한다.



(a) 90° (b) 0°
그림 4 관절음 수집 방법

4. 결과 및 고찰

관절의 신전, 굴곡 운동을 한 사이클이라 할 때, 한 사이클 동안 각도의 변화에 따른 주파수 변동과 크기 변동을 분석하였다. 운동 각도는 각각 신전 운동 90°에서 0°의 범위를 10°씩 9단계, 굴곡 운동 0°에서 90°의 범위를 10°씩 9단계, 총 18 단계로 나누었다. 각 단계별로 관절음을 분할하기 위해서는 전자 각도계를 이용하여 관절의 운동 각도를 검출하고 이를 바탕으로 한 사이클 동안에 발생하는 음향 신호를 총 18단계로 분할하여 각 분할된 영역 내에서의 피치 간격(Fi)과 피치

크기(Ai)를 이용하여 주파수 변동(ΔF)과 크기 변동(ΔA)을 구한다. 이러한 방법을 정상인과 환자 제 1군과 환자 제 2군에 적용하여 각 단계별 평균값을 구하고, unpaired t-test 통하여 통계적인 의미를 해석하였다.

그림 5는 대조군의 자세에 따른 각도별 주파수 변동과 크기 변동값의 평균을 나타내며 각각 신전 운동 90°에서 0°까지와 굴곡 운동 0°에서 90°까지의 결과이다. 주파수 변동에 대한 결과로부터, 대조군의 신전 운동 시 10°~0°에서 좌위가 기립위에서 보다 큰 값을 보였으며($p < 0.05$), 굴곡 운동에서는 자세에 따른 주파수 변동의 차이가 없었다. 크기 변동에 대한 결과에서는, 신전 운동에서는 60°~50°에서 기립위가 좌위에서 보다 큰 값을 보였으며 굴곡 운동 0°~10°, 40°~50°에서는 기립위에서의 값이 크게 나타났으며, 60°~70°에서는 기립위에서의 값이 좌위보다 크게 나타났다($p < 0.05$). 대조군의 경우 슬관절의 연골에 이상이 없는 그룹이기 때문에 관절 운동 메커니즘이 정상이며 이로 인해 무릎에 체중이 가해지지 않는 좌위나 체중이 가해지는 기립위에서의 피치들의 주파수와 크기에 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 크기 변동은 신전 운동 20°에서 굴곡 운동 20° 사이에서 값이 증가하다가 감소하고 0°를 중심으로 좌우 대칭이 이루는 'w' 형태의 곡선을 나타낸다(그림 5.(b)).

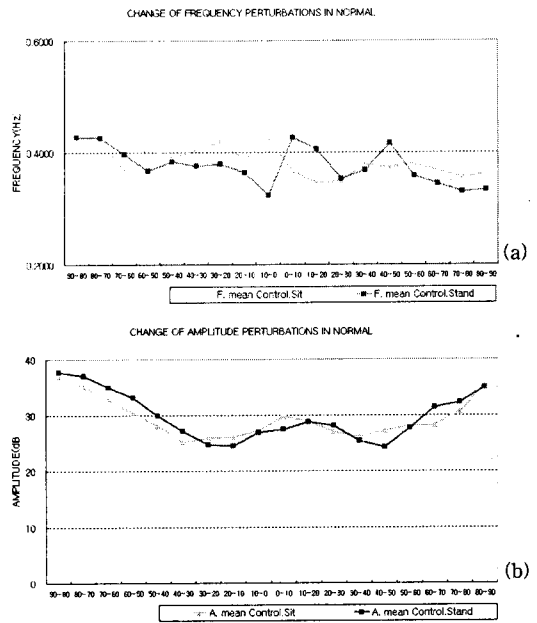


그림 5. 대조군의 각도별 피치변동; (a) 주파수, (b) 크기

그림 6(a)는 실험 제 1군과 제 2군의 자세에 따른 각도별 주파수 변동을 나타내며 G1은 실험 제 1군, G2는 제 2군을 의미한다. 좌위에서는, 신전 운동 시 70°~60°, 50°~20°에서 제 2군의 주파수 변동이 제 1군보다 크게 나타났으며($p < 0.05$) 굴곡 운동 시에는 30°~40°, 50°~60°에서 제 2군이 제 1군보다 큰 값을 보였다($p < 0.05$). 기립위에서는 신전 운동 시 70°~10°, 굴곡 운동 시 0°~50°와 70°~80°에서 제 2군이 제 1군보다 큰 값을 보였다($p < 0.05$).

그림 6(b)는 실험군의 자세에 따른 각도별 크기 변동을 나타낸다. 좌위에서는 신전과 굴곡 운동 시 전 구간에서 제 2군의 크기 변동이 제 1군보다 큰 것으로 나타났으며 ($p<0.05$), 기립위에서는 신전 운동 전 구간에서 제 2군의 크기 변동이 제 1군보다 크게 나타났고($p<0.05$), 굴곡 운동에서는 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 을 제외한 구간에서 제 2군이 제 1군보다 큰 값을 보였다($p<0.05$).

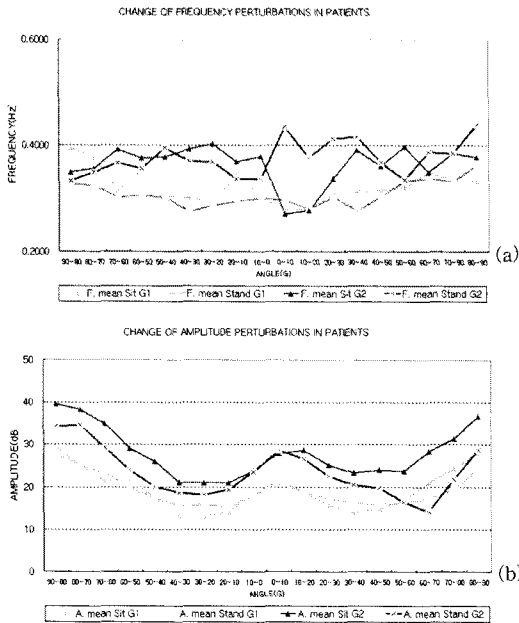


그림 6. 실험군의 각도별 피치변동; (a) 주파수, (b) 크기

주파수 변동에 대한 분석 결과, 굴곡, 신전 운동을 하는 동안에는 기립위에서의 주파수 변동값이 좌위에 비하여 더 넓은 범위에서 큰 차이를 보이며 그 값은 제 2군이 제 1군에 비하여 크게 나타남($p<0.05$). 크기 변동에 대한 결과로부터, 일부 구간을 제외한 전 구간에서 제 2군이 제 1군보다 더 큰 변동값을 나타낸다($p<0.05$). 또한 주파수 변동은, 신전 운동의 시작 지점인 90° 부근에서 가장 큰 값을 갖다가 점차 감소하여 $40^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 부근에서 최소값을 나타내며 0° 부근에 이르기까지 증가하는 형태를 나타내며, 굴곡 운동 시에도 유사한 형태를 나타내어 0° 를 중심으로 좌우가 대칭인 형태를 보이는 'w'형 곡선을 나타낸다.

위의 결과로부터 골관절염 질환을 갖고 있는 환자 제 2군의 슬관절음이 전십자 인대 파열이나 반월상 연골 열상에 의한 손상을 받아 슬관절의 불안정성이 있고 수술적 치료가 필요한 환자 제 1군에 비해 각 피치간의 크기 변화가 크고, 피치간의 간격이 짧아진다는 것을 의미하며, 관절염 환자일수록 외상 환자에 비해 관절음의 크기나 주기가 더욱 급격하게 변하는데 이것은 외상 환자의 경우 관절 내 구조물의 불안정성으로 오히려 관절 사이의 접촉이 적거나 관절강 내에 삼출액, 혈액이 마찰계수를 줄였기 때문이라 생각한다. 또, 각도별로 분석된 피치 변동은 관절의 손상 부위에 대한 정보를 얻기 위한 것으로, 관절의 운동 각도가 관절이 손상된 부근에 위치

할 경우 피치에서의 변동이 있을 것이라 생각한다. 특히, 슬관절 내부의 특정 구조물에 손상이 있는 제 2 실험군에서 일정 각도에서 특징적 변동이 있을 것으로 예상하였다. 그러나 본 연구 결과는 거의 전 구간에서 비슷한 차이를 보이고 있으며, 따라서 향후 더 많은 환자에서의 검사와 더 많은 정상 인과의 비교를 통하여 이를 고찰할 필요가 있을 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구에서는 슬관절의 신전, 굴곡 운동 시 발생하는 음향 신호를 수집하여 관절의 운동 각도에 따라 총 18단계로 나누어서 각도에 따른 피치변동의 평균을 구하였고 unpaired t-test를 통하여 통계적인 의미를 해석하였다. 그 결과, 주파수 변동 분석에서는 굴곡, 신전 운동을 하는 동안에는 기립위에서의 주파수 변동값이 좌위에 비하여 더 넓은 범위에서 큰 차이를 보이며 그 값은 제 2군이 제 1군에 비하여 큰 값을 보였다($p<0.05$). 크기 변동 분석에서는 일부 구간을 제외한 전 구간에서 제 2군이 제 1군보다 더 큰 크기 변동값을 보인다($p<0.05$). 각도-크기변동 그래프는 90° 부위에서 큰 값을 갖으며 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 에서 상대적으로 작은 값을 갖으며 0° 를 기준으로 좌우 대칭을 이루는 'w'형태의 곡선을 나타낸다.

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.

참고 문헌

- [1] Prinz J. F. and NG K. W., "Characterization of sounds emanating from the human temporomandibular joints", *Archs oral Biol.*, vol. 41, no. 7, pp. 631-639, 1996.
- [2] Akan A. and Basar R., "Time-frequency analysis and classification of temporomandibular joint sounds", *J. of the Franklin Institute*, vol. 337, pp. 437-451, 2000.
- [3] 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. of Oral Rehabilitation*, vol. 26, pp. 145-150, 1999.
- [4] Myers C. and Rabiner L. R., "Performance tradeoffs in dynamic time warping algorithms for isolated word recognition", *IEEE trans.*, vol. ASSP-28, no. 6, pp. 575-582, 1980.
- [5] Song C. G., Kim J. M. and Lee M. H., "Perturbation analysis of EGG for Detecting Laryngeal Pathology", *IEEE EMBS Conf. proceedings*, pp.1344-1345, 1994.
- [6] Frank C. B., Rangayyan R. M. and Bell G. D., "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.
- [7] Widmalm S. E., Williams W. J., Djurdjanovic D. and Mckay D. C., "The frequency range of TMJ sounds", *J of Oral Rehabilitation*, vol. 30, pp. 335-346, 2003.