

Polarization-Sensitive Optical Coherence Tomography를

이용한 정상 및 골관절염 연골조직 단면이미지 획득

Imaging of Normal and Osteoarthritic Cartilage with

Polarization-Sensitive Optical Coherence Tomography

오정택*, 이상원**, 김법민**

* 연세대학교 의료공학연구원

** 연세대학교 보건과학대학 의공학과

* cliff@dragon.yonsei.ac.kr

PS-OCT(Polarization-Sensitive Optical Coherence Tomography) 시스템은 생체조직의 미세 산란특성에 의해 발생하는 역산란광의 편광변화를 각 깊이별로 얻어 내어 조직의 형태를 알아낸다.⁽¹⁾ 콜라겐, 케라틴, 망막조직 등 많은 생체조직이 광에 대해 비등방성을 가지고 있으며 이 중에서 조직화된 콜라겐 섬유로 이루어진 생체조직의 경우, 매우 강한 복굴절 성질을 가지고 있고, 콜라겐 단백질의 변성에 의해 그 값이 민감하게 바뀌게 된다. 본 연구에서는 PS-OCT 시스템을 이용하여 인체의 대퇴골부 연골조직을 대상으로 연골의 형상과 콜라겐 단백질의 분포를 비침습적인 방법으로 획득하였다. 기존 일반적인 OCT를 이용한 연골의 이미지 획득에 경우 연골의 조직학적 형상을 주로 측정하였으며, 조직내 복굴절에 의해 발생하는 artifact에 의해 이미지 해석에 문제가 발생하였다.⁽²⁾ 위와 같은 문제점을 해결하고 기존 OCT로는 찾아낼 수 없는 콜라겐 단백질의 분포에 의한 복굴절량을 측정할 수 있는 PS-OCT 시스템을 사용함으로써 연골조직의 정보를 보다 정확하게 획득할 수 있게 시도하였다.

본 론

PS-OCT 시스템은 편광된 탐침광을 조사하여, 대상 조직에 의해 역산란된 광의 수평수직 편광방향에 대한 각각의 간섭신호를 획득하고, 간섭신호의 크기와 위상을 추출한 후 편광정보를 나타내는 스톡스(Stocks) 벡터를 추출한다.⁽³⁾ 본 실험에 사용된 PS-OCT 시스템의 자세한 설명은 참고문헌.1 에 자세히 수록되어 있다. 연골조직은 일정한 방향으로 정렬된 콜라겐 섬유조직과 calcified 연골로 이루어진 불연속적인 조직으로 모사할 경우, 측정되는 깊이별 스톡스(Stocks) 벡터는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 S_0 &\propto R(z) \\
 S_1 &= S_0 \sin(2\delta(z)) \sin 2\varphi \\
 S_2 &= S_0 \sin(2\delta(z)) \cos 2\varphi \\
 S_3 &= S_0 \cos(2\delta(z))
 \end{aligned} \tag{1}$$

이때 $R(z)$, $\delta(z)$, φ 는 각각 연골조직내부의 조직층 간의 발생하는 굴절율의 변화로 인한 반사율의 변화,

콜라겐 섬유에 의한 복굴절값, 그리고 섬유의 방향성을 나타낸다.

본 연구의 타당성확인을 위해서 정상적인 무릎 연골조직과 관절염에 의해 연골조직이 손상된 두 부분을 각각 그림.1에 묘사된 PS-OCT시스템을 이용하여 측정하였으며, 측정조직부분을 현미경영상과 비교하여 보았다.

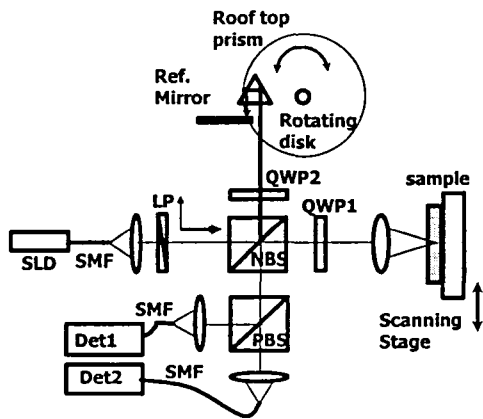


Fig. 1 Schematic of the PS-OCT system configured for testing composites. SLD: super-luminescent diode, LP: linear polarizer, QWP: Quarter wave plate, BS: non-polarizing beam splitter, PBS: polarizing beam splitter, SMF: single-mode fiber, Det: detector.

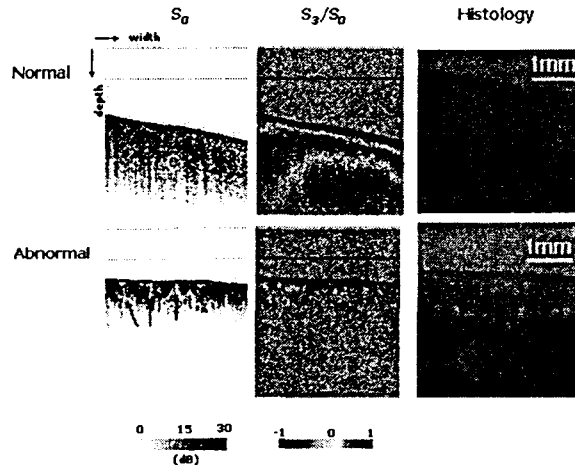


Fig 2 PS-OCT images of knee cartilages on the femoral condyles. The physical size of each image is 2.0mm(depth) x 2.4 mm(width), and pixel size corresponds to 5 x 6 μ m. The histology of region nearby each sample is shown on the right of each PS-OCT image. Cartilage and bone are identified as (C) and (B), respectively.

위 결과에서 비정상조직의 S_0 이미지를 비교할 경우, PS-OCT영상과 현미경영상에서 연골 표면부에 발생한 미세한 균열부를 많이 확인할 수 있다. 이에 비해 정상적인 조직의 경우에 있어서는 매우 균일하게 연골이 형성되고 있음을 두 영상을 통해 비교할 수 있다. 정렬된 콜라겐 섬유의 존재를 확인시켜주는 S_3 이미지의 경우, 정상조직에는 복굴절이 균일하고 강하게 존재하고, 비정상조직의 경우에 있어서는 불규칙하게 분포함을 확인할 수 있다. 위 결과를 통해 PS-OCT영상기법을 이용할 경우에 연골 조직의 정상유무를 조직검사 없이 수행할 수 있는 가능성을 확인하였다.

참고 문헌

1. J. F. de Boer, et. al. *Determination of the depth-resolved Stokes parameters of light backscattered from turbid media by the use of polarization-sensitive optical coherence tomography*, Opt. Lett.,1999
2. J. M. Herrmann , et. al. *High resolution imaging of normal and osteoarthritic cartilage with optical coherence tomography*, The Journal of Rheumatology, 1999
3. J.T. Oh, et. al., *Polarization-sensitive optical coherence tomography for photoelasticity testing of glass/epoxy composites*, Optics Express, 2003.