

PS-LCI를 이용한 혈당 농도에 따른 Stokes 파라미터 측정

Measurement of Stokes parameter changes due to blood glucose using PS-LCI

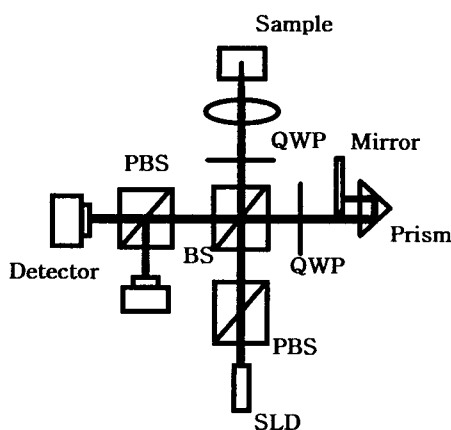
이상원, 김법민

연세대학교 의공학과 의광학연구소

ysviper@msn.com

최근 수년간 polarimetry, Raman spectroscopy, near infrared (NIR) absorption spectroscopy, NIR scattering, optoacoustics 등의 방법을 통하여 비침습적으로 Glucose의 농도를 측정하려는 연구가 많이 시도되었다. 일반적으로 이들 방법은 sensitivity 와 signal-to-noise ratio가 매우 낮고 복잡한 알고리즘이 요구되어져 glucose 농도 측정에 한계가 있음이 드러났다.⁽¹⁾ 본 연구에서는 polarization sensitive low coherence interferometer (PS-LCI) 기법을 이용하여 농도에 따른 stokes parameters를 측정함으로써 비침습적으로 glucose를 측정하는 것이 가능한지 알아보는데 그 목적이 있다.

산란 (scattering)은 생체 조직을 통하여 전달되는 빛의 편광 상태를 바꾸는 주요한 원인이다. 단독의 산란 (single scattering)이 발생한 후에 빛의 편광 상태는 산란물질, 산란 방향 등에 영향을 받는다. 또한 많은 생체 조직은 collagen 등 비선형적 결정구조를 포함하기 때문에 복굴절 특성을 나타내며⁽²⁾ glucose 분자도 이러한 복굴절 특성을 가지고 있다. 이 실험에서는 PS-LCI 시스템에서 복굴절 물질 사이를 통과한 거리에 대해 비례하는 orthogonal한 편광 구성 성분 사이의 Stokes parameters를 측정하게 된다. LCI는 기본적으로 적외선 영역의 빛을 50/50 빔 분배기를 이용하여 둘로 나누고 reference mirror (scanner)에서 반사되는 빛과 샘플에서 back-scattering 된 빛이 다시 빔 분배기에 모였을 때, 두 빛의 경로차에 의한 가간섭 원리를 응용한 것이다.⁽³⁾ 왼쪽의 Fig. 1은 이번 실험에서 사용한 PS-LCI 시스템



의 개략도를 나타낸다. 먼저 SLD에서 나온 빛은 PBS를 통과하여 수평 방향으로 편광된 빔을 만들어낸다. 수평 빔은 BS를 통하여 한쪽으로는 수평에 대해 22.5°의 QWP를 통과하여 reference mirror에 들어가고, 다른 한쪽은 45°의 QWP를 통과하여 sample에 들어간다. 각각의 빛은 다시 돌아와 PBS 앞에서 모여지며, 이 빛을 별도의 PBS를 통과시켜 두 개의 Detector로 받는다. Detector에서 검출된 신호는 DAQ board와 LabView 프로그램을 사용하여 검출·저장한 후, MATLAB에서 신호처리 및 알고리즘을 수행하였다. 또한 한 샘플에 대하여 300번의 스캐닝을 통해 얻어진 데이터의 평균값을 취하였다.

Fig. 1 PS-LCI 시스템 기본 개략도

BS: Beam splitter, QWP: Quarter-wave plate,

PBS: Polarizing beam splitter

이렇게 얻어진 두 개의 horizontal, vertical에 대한 데이터를 다음의 식에 의해서 Stokes parameters를 구하게 된다.⁽⁴⁾

$$S_0 = \langle a_H^2 \rangle + \langle a_V^2 \rangle, \quad S_1 = \langle a_H^2 \rangle - \langle a_V^2 \rangle$$

$$S_2 = 2\langle a_H a_V \cos(\theta_V - \theta_H) \rangle, \quad S_3 = 2\langle a_H a_V \sin(\theta_V - \theta_H) \rangle \quad \text{----- (1)}$$

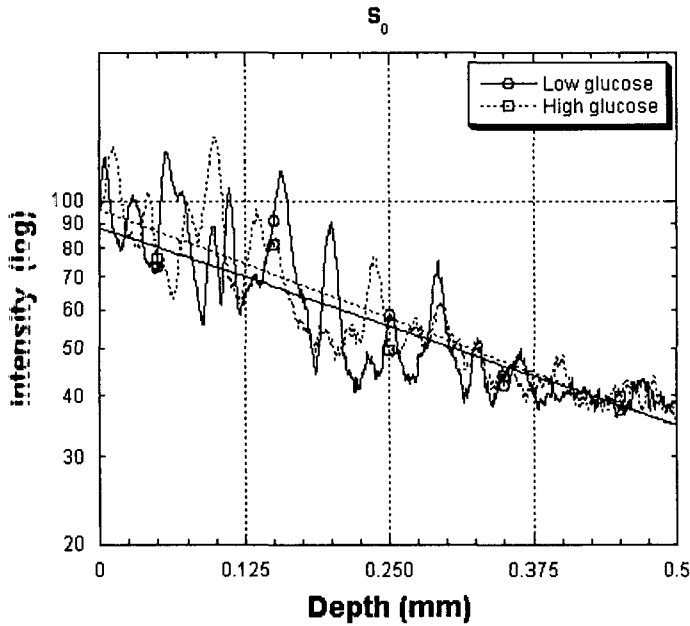


Fig. 2 돼지 혈액에서의 glucose 농도에 따른 Stokes parameter, S_0 .

본 실험에서 광원으로는 1300nm, FWHM $\Delta\lambda = 40\text{nm}$ 를 갖는 Super luminescence diode(SLD)를 사용하였다. Scanner로는 Galvanometer에 프리즘을 올려놓아 5°의 회전각도를 주어 약 2mm에 해당하는 빛의 경로차를 만들어 주었다. 검출기로는 InGaAs Photodiode를 사용하였다. 샘플로는 돼지의 혈액에 glucose의 양을 달리하여 사용하였다.

Fig.2는 (1)번 식에 의해서 구해진 Stokes parameter들 중에서 S_0 의 결과를 가지고 exponential 함수로 curve fitting을 한 결과이다. 그래프를 보게 되면 혈액 내에서 glucose의 양이 많을수록 감쇄하는 기울기가 커짐을 볼 수 있다. 이는 Beer's Law에 적용함으로써, 농도에 따른 μ_s 를 측정할 수 있음을 알 수 있다. 현재 S_0 의 데이터로만

분석을 하였지만, 추가로 S_1, S_2, S_3 및 phase retardation 값들을 비교·분석한다면, glucose의 농도에 따른 편광도를 알 수 있을 것이다. 또한 이를 바탕으로 측정 역알고리즘에 대한 개발에 중점을 두어야 할 것이며, 기존의 다른 방법과 병행하여 사용하면 보다 나은 결과를 가져올 수 있으리라 사료된다.

1. Kirill Larin, Irina Larina, Massoud Motamedi, Valentin Gelikonv, "Potential application of optical coherence tomography for non-invasive monitoring of glucose concentration"
2. Johannes F. de Boer, Thomas E. Milner, "Review of polarization sensitive optical coherence tomography and stokes vector determination", Journal of Biomedical Optics 7(3), 359-371 (2002)
3. E.A. Swanson, M.R. Hee, G.J. Tearney, B. Boumar, S. Boppart, J. Izatt, M.E. Brezinski, J.S. Schuman, "Optical coherence tomography principles, instrumentation, and biological applications", Biomedical Optical Instrumentation and Laser-Assisted Biotechnology, 291-303 (1996)
4. Brett E. Bouma, Gaillermo J.Tearney, "Handbook of Optical Coherence Tomography", Marcel Dekker, 237-274 (2002)