

Polarization Sensitive Low coherence interferometry를 이용한 Glucose 농도 측정

Measurement of glucose concentration using Polarization Sensitive Low Coherence Interferometry

이상원*, 오정택**, 김법민*

* 연세대학교 보건과학대학 의공학부 , **연세대학교 의료공학연구원

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 알려져있다.⁽¹⁾ 본 연구는 polarization sensitive low coherence interferometer (PS-LCI) 기법을 이용하여 glucose의 농도와 샘플의 깊이에 따라 Stokes parameter S_0, S_1 을 추출하여 역산란광의 광강도와 depolarization을 측정하였다. 측정된 두 가지 Stokes parameter를 이용하여 비침습적인 glucose의 농도 측정 가능성을 확인해보고, 어떤 parameter가 농도를 측정하는데 있어 좀 더 효과적인지 확인하는데 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.⁽²⁾ 이러한 산란 현상은 물질의 농도에 따라 영향을 받게 된다.

이 실험에서는 PS-LCI 시스템에서 원편광 빛이 농도가 다른 물질 사이를 통과하였을 때 거리에 대해 비례하는 orthogonal한 편광 구성 성분 사이의 Stokes parameters(S_0, S_1, S_2, S_3)를 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⁾ 아래의 그림 1은 이번 실험에서 사용한 PS-LCI 시스템의 개략도를 나타낸다. 먼저 SLD에서 나온 1300 nm의 빛을 PBS를 통과하여 수평 방향으로 편광된 빔으로 만들어낸다. 수평 빔은 BS를 통하여 한쪽으로는 수평에 대해 22.5°의 QWP를 통과하여 reference mirror에 들어갔다다 다시 BS로 돌아왔을 때 45° 선편광이 되도록 하였고, 다른 한쪽은 45°의 QWP를 통과하여 원편광 빛이 sample에 들어가도록 하였다. 각각의 빛은 다시 돌아와 별도의 PBS 앞에서 모여지며, 이 PBS를 통과시킨 후 두 개의 Detector로 받는다. 각각의 Detector에서 검출된 신호는 A/D 변환시키고 저장한 후, MATLAB에서 digital filter와 Hilbert transform을 통하여 demodulation 과정을 수행하였다. 또한 한 샘플에 대하여 100번의 스캐닝을 통해 얻어진 데이터의 평균값을 취하였다.

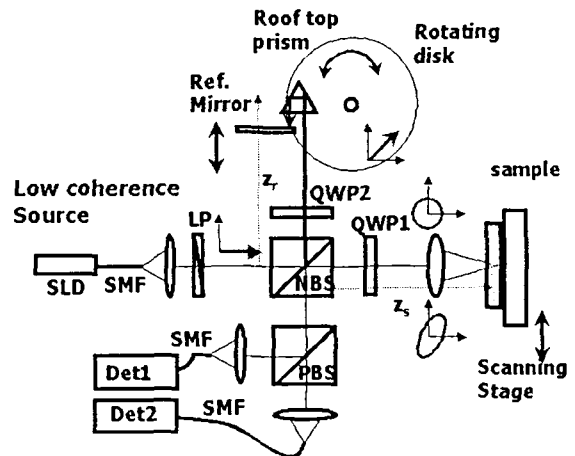
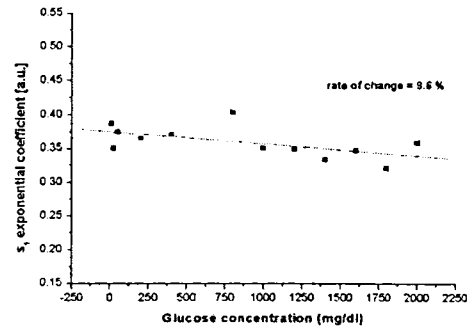
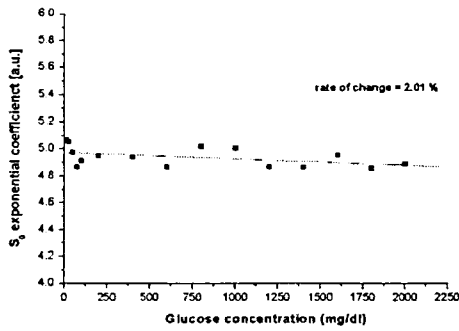


그림 1. PS-LCI 기본 개략도

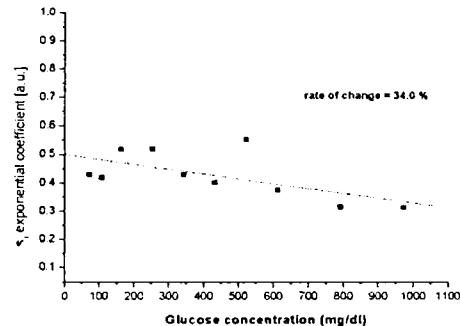
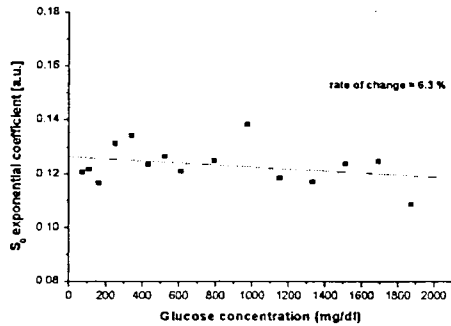
BS : Beam splitter QWP : Quarter-wave plate
PBS : Polarization Beam splitter



a) Glucose 농도에 따른 S_0 exponential coefficient

b) Glucose 농도에 따른 S_1 exponential coefficient

그림 2. Intralipid 용액에서의 glucose 농도에 따른 S_0 , S_1 exponential coefficient 그래프



a) Glucose 농도에 따른 S_0 exponential coefficient

b) Glucose 농도에 따른 S_1 exponential coefficient

그림 3. Blood에서의 glucose 농도에 따른 S_0 , S_1 exponential coefficient 그래프

위 그림 2와 그림 3은 각각 Intralipid 용액과 blood에서 깊이에 따른 신호의 기울기 변화를 exponential curve fitting을 통하여 계수를 구한 후, glucose의 농도에 따라 계수들의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 2를 보게되면 Intralipid 용액에서 glucose의 농도가 높아짐에 따라 변화율이 S_0 에서는 2.01 %, S_1 에서는 9.6 %임을 볼 수 있다. 또한 그림 3에서는 혈액에서 glucose 농도에 따른 변화율이 S_0 에서는 6.3 %, S_1 에서는 34.0 %임을 볼 수 있다. 따라서 glucose의 농도를 측정하는데 있어서 S_1 에서 S_0 보다 4배 이상 민감하다는 결론을 얻을 수 있으며, 이는 단순히 S_0 를 통하여 산란계수(μ_s)만을 이용하여 glucose의 농도를 측정하는 것보다 S_1 을 통하여 depolarization되는 정도를 측정하여 glucose의 농도를 예측하는 것이 좀 더 정확하다는 사실을 나타낸다.

앞으로의 연구 방향으로는 S_0 와 S_1 의 데이터 값을 상호 보완적으로 사용하여 좀 더 정확하게 glucose의 농도를 측정할 수 있는 알고리즘을 개발하는데 중점을 둘 예정이다.

1. Kirill Larin, "Potential application of optical coherence tomography for non-invasive monitoring of glucose concentration"
2. Kirill larin, "Noninvasive Blood Glucose Monitoring With Optical Coherence Tomography", Diabetes Care 25(12), 2263-2267(2002)
3. Johannes F. de Boer, "Review of polarization sensitive optical coherence tomography and stokes vector determination", Journal of Biomedical Optics 7(3), 359-371 (2002)