

OCT용 손잡이 형 프로브를 이용한 고막 상태 평가

권형일¹ · 김이혁² · 조남현¹ · 정효상¹ · 김지현¹ · 이상훈²

¹경북대학교 전자전기컴퓨터대학원, ²경북대학교 의과대학 이비인후과

Handheld OCT probe for Evaluation of Tympanic Membrane Status

Hyeongil Kwon¹, Yee Hyuk Kim², Nam Hyun Cho¹, Hyosang Jeong¹,
Jeehyun Kim¹ and Sang Heun Lee²

¹Graduate School of Electrical Engineering and Computer science, Kyungpook National University, Daegu

²Department of Otolaryngology, College of Medicine, Kyungpook National University, Daegu

(Received April 15, 2011. Accepted June 30, 2011)

Abstract: In this study, we developed an optical coherence tomography(OCT) using a sweep-source laser whose center wavelength is 1310 nm and a probe of hand-held type. The developed hand-held probe targets to diagnose the middle ear, so it is miniaturized for ease and convenience of control. For the first time, we performed in-vivo clinical experiments on tympanic membrane(TM) perforation patients not reported from previous studies about OCT. The high-resolution sectional images of tympanic membrane perforation can be obtained. There aren't many studies about diagnostic instrument of the middle ear and diagnosis with sectional image of the middle ear, so the developed OCT system and hand-held probe are applicable to tympanic membrane perforation and other pathologic diagnosis in the middle ear.

285

Key words: OCT, handheld Probe, Otitis Media, Tympanic Membrane, TM perforation

1. 서 론

광 생체 단층 촬영시스템(OCT: Optical Coherence Tomography)은 근적외선 파장 대(800 nm~1550 nm)의 저가간섭의 원리를 이용하여 생체 단면의 미세 조직을 고 해상도(1~15 μm)의 영상으로 비침습적, 실시간으로 획득할 수 있는 기술이다[1-3]. 본 기술은 암을 포함한 각종 질병을 초기

에 발견하는 진단장비에 적용되고 있다[4,5]. OCT를 이용하여 안과, 피부과, 내과, 치과, 산부인과 등의 폭넓은 의학 진단분야에서 사용하고자 많은 연구가 진행되고 있다[6-8]. 신체 내부에 대한 OCT영상을 촬영하기 위하여 프로브를 사용하고 있으며, 현재까지 연구된 프로브의 종류는 구강검사를 위한 손잡이 형 프로브, 부인과 진단을 위한 콜포스코프(colposcope), 위 내시경용의 OCT카테터(catheter) 및 현재 OCT의 가장 활발한 응용이 되고 있는 안과용 banch-top형태의 프로브의 형태를 가지고 있다[9]. 하지만 현재 이비인후과 질병에 대한 프로브의 개발은 제작의 어려움으로 인하여 세계적으로 개발이 미약한 수준이며 현재까지 동물 실험을 위주로 진행되고 있다[10-12]. 또한 현재까지 이비인후과에서 사용하는 진단기기들은 검이경(otoscope), 내시경(endoscope)을 이용하여 고막 소견과 임상 증상의 확인을 통하여 진단이 이루어지고 있어 질병 감염원인에 정확한 분석의 어려움으로 진료의 신뢰성을 감소시키는 요인으로 작용하였으며 질병의 조기 진단이 어려움으로 적절한 처방의 어

Corresponding Author : 김지현
대구광역시 북구 대학로 80번지 경북대학교 전자전기컴퓨터대학원 (702-701)
E-mail: jeehk@knu.ac.kr
이상훈
대구광역시 중구 삼덕동 2가 50번지 경북대학교 의과대학 이비인후과 (700-721)
E-mail: leeshu@knu.ac.kr
본 연구는 보건복지가족부 보건의료기술진흥사업(A102024), 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업, 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(2010-0014461)의 지원을 받아 수행되었기에 이에 감사드립니다.

려움을 가지고 있었다. 특히 만성 중이염의 환자들의 경우 대부분의 환자들이 고막 천공을 비롯하여 여러 가지 질병을 동시에 가지고 있어 처방의 어려움을 가지고 있었다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 파장가변형 OCT와 손잡이 형 프로브를 제작하여 만성 중이염 환자 중 고막 천공을 가진 환자를 대상으로 임상 실험을 실시하였다.

II. 본 론

1. OCT시스템

그림 1은 본 논문에서 사용한 파장가변형 OCT(Swept Source-OCT: SS-OCT)의 기본 구성도이다. OCT시스템에 사용한 광원은 Santec사의 HSL-2000모델을 사용하였으며, 중심파장은 1310 nm 이고 FWHM(Full Width at Half Maximum)은 110 nm, scan rate 는 20 kHz 이다. 써큘레이터(circulator)를 통해 전달된 광은 7:3 비율의 커플러(coupler)를 통하여 샘플단과 기준단으로 각각 진행하며, 이때 광의 70%는 반사가 적은 샘플단으로 광을 전달 시키고 30%의 광은 비교적 광의 반사가 많은 기준단으로 전달될 수 있도록 커플러를 구성하여 좀 더 높은 해상도의 영상을 얻고자 하였다. 이때 샘플단은 고막의 영상을 좀 더 손쉽게 획득할 수 있도록 손잡이 형태의 프로브로 구성하였으며, 기준단과 샘플단에서 반사된 빛은 커플러를 통해 OCT시스템의 신호검출부인 balance detector (Thorlabs: PDB110C, Bandwidth 100MHz)를 통해 컴퓨터로 입력되며 digitizer (NI: PCI-5122, 100 MegaSampling/Second)를 통하여 신호를 획득하게 된다. DAQ(NI: PCI-6221, 833 KiloSampling/Second)보드는 galvo mirror의 구동을 위하여 사용하였다.

2. 손잡이형 프로브 제작

그림 2(A)는 본 연구에서 사용한 OCT시스템을 나타내고 있다. 그림2(B)는 샘플단을 손잡이형 프로브를 3D CAD (Solidworks2008)를 이용하여 설계하였으며, 실제 사용한

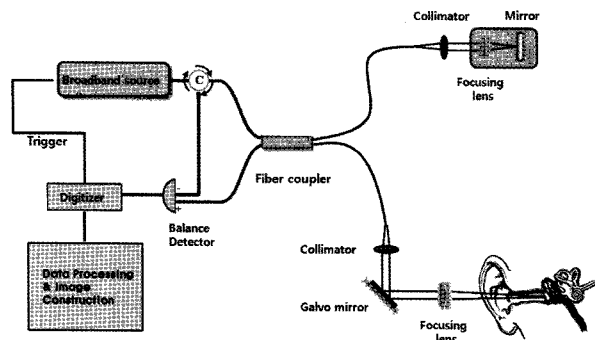


그림 1. SS-OCT 시스템 구조도
Fig. 1. Schematic diagram of the SS- OCT system

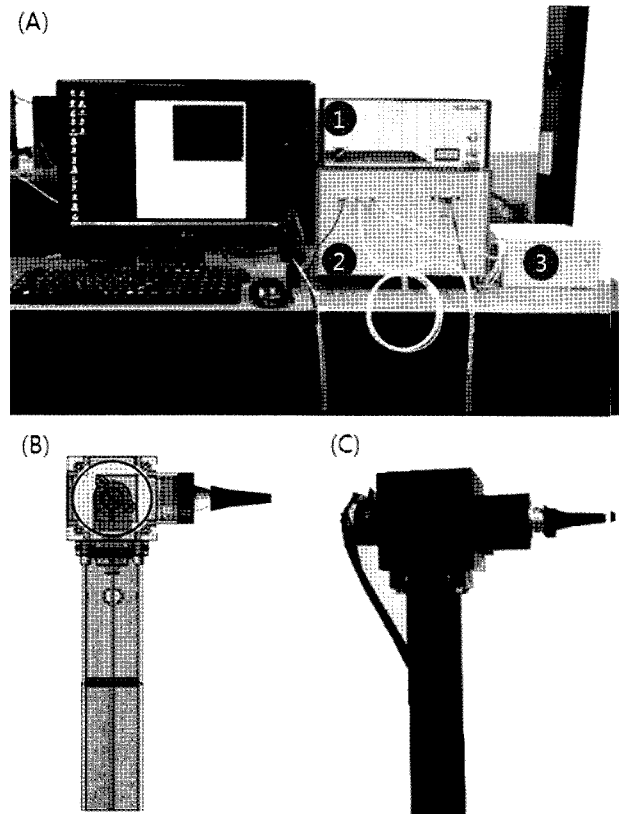


그림 2. 개발된 SS-OCT 시스템과 손잡이 형 프로브. (A) SS-OCT 시스템 (1. 광원, 2. OCT 본체, 3. 파장 트리거 필터), (B) 손잡이 형 프로브 설계도. (C) 개발된 손잡이 형 프로브

Fig. 2. Developed swept source based OCT system and handheld probe. (A) Swept source optical coherence tomography system (1. Broadband source, 2. OCT body, 3. Wavelength trigger filter), (B) Design of the handheld probe, (C) Developed handheld probe

부품들과 1:1배율로 설계하여 실제 프로브의 제작 시 시행착오를 최소화 할 수 있도록 하였다. 그림 2(C)는 제작한 손잡이 형 프로브의 사진으로 가로 4.5 cm, 세로 5 cm, 높이 5 cm이며, 고막의 영상촬영에 용이하도록 손잡이형태의 프로브로 소형화하여 제작하였다. 샘플단 내부의 구성은 콜리메이터, 1D 스캐닝이 가능하도록 1축 galvo mirror, 고해상도의 고막 영상 촬영을 위한 초점 렌즈가 위치하는 프로브 어댑터, 고막 영상 촬영이 용이하도록 제작한 메탈홀더, 환자들의 위생을 고려하여 탈부착이 가능하도록 제작한 ear specular와 광섬유와 galvo mirror의 전선들을 넣을 수 있는 손잡이로 구성하였다. 손잡이의 길이는 10 cm로 원형 튜브를 연결할 수 있도록 구성하였으며 이는 환자 진료의 편의를 고려하여 길이를 조절할 수 있도록 제작하였다.

외이(outer ear)에서 중이(middle ear)까지의 거리는 약 5 cm로 프로브의 어댑터에서 약 2 cm전방에 광의 초점이 형성되도록 하여 고막뿐만 아니라 중이의 상태도 확인이 가능하도록 고려하여 제작하였다.

III. 방 법

개발한 시스템과 손잡이 형 프로브의 임상 실험을 2010년 7월부터 2010년 10월까지 경북대학교 이비인후과를 방문한 만성 중이염환자 중 고막천공의 증상을 겪고 있는 환자 12명을 대상으로 임상실험을 진행하였다. 대상에 따라 서로 다른 중이 구조를 가지므로 메탈홀더 앞단에 여러 형태의 팁을 교체하고, 메탈홀더에 연결된 튜브를 조절 하여 렌즈의 초점거리를 맞추어 환자의 고막 영상을 손쉽게 획득할 수 있도록 하였다.

IV. 결 과

본 실험을 통해 600×450의 고해상도 고막천공의 이미지를 획득할 수 있었다. 그림 3의 좌측은 검이경, 우측은OCT를 이용하여 획득한 고막의 이미지로써, 그림 3(A)는 정상고막의 이미지를 나타내고 그림3(B, C, D) 는 고막천공 질환을 겪고 있는 환자의 고막 이미지이다. 그림 3(A)와 같이 정상적인 고막의 경우 고막과 이소골(ossicles)을 확인 할 수 있

었다. 좌측 이미지를 통해 알 수 있듯이 검이경의 경우 고막의 표면 상태만을 확인가능 하였다. 우측의 OCT이미지는 고막의 단층을 확인할 수가 있었고 이를 통해 실험 대상자의 고막두께는 약 100 um인 것을 알 수 있었다. 그림3(B)의 경우 좌측 검이경 이미지상 고막천공의 면적비가 전체 고막에 대해 50%이상인 환자이다. OCT이미지를 통해 확인 결과 고막의 두께가 그림3(A) 정상고막에 비하여 두꺼우며 고막천공으로 인해 고막 아래에 위치한 정원창(round window)의 단층 및 고막과 정원창의 경계를 확인할 수 있었다. 그림 3(C)에 나타난 환자의 경우 검이경 이미지 및 의사의 소견을 통해 고막이 소실되어 정원창에 손상이 있음을 확인하였고, 우측OCT이미지를 통해 확인결과 정원창의 손상 깊이 정도를 알 수 있었다. 그림 3(D)는 검이경 이미지상 천공의 크기가 그림3(B) 환자에 비하여 비교적 작다는 것을 확인 하였다. 우측에 보이는 OCT이미지는 고막 천공부위의 경계면을 측정 한 이미지로 고막천공으로 위쪽에는 고막층이 아래쪽은 정원창이 나타남을 보이며 고막층이 정상 고막에 비해 층(layer)이 보이는 것을 확인하였다. 고막천공 진단에OCT를 이용하여 접근한 결과 검이경을 통해서서는 확인이 되지 않는 고막의 두께, 조직의 단면상태, 다른 조직과의 유착상태를 확인할 수 있었다. 일반적으로 고막천공 진단은 검이경 및 내시경을 이용하여 고막 소견과 임상 증상의 확인을 통해 진단이 이루어지고 있어 질병 감염원인이 정확한 분석의 어려움으로 진료의 신뢰성을 감소시키는 요인으로 작용하였으며, 특히 만성 중이염의 환자들의 경우 대부분의 환자들이 고막 천공을 비롯하여 여러 가지 질병을 동시에 가지고 있어 처방의 어려움을 가지고 있었다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 파장가변형 OCT시스템과 손잡이 형 프로브를 제작하여 만성 중이염 환자 중 고막 천공을 가진 환자를 대상으로 임상 실험을 실시하였으며 조기 진단의 가능성을 확인하였다.

V. 고 찰

본 논문은 고막천공 영상 획득에 OCT를 이용함으로써 이 방법의 적용 범위를 알아보고자 시도하였으며 이를 위해 고막천공 영상화를 위한 OCT 시스템 기반의 손잡이 형태의 프로브를 제작하였다. 개발한 프로브는 시스템의 안정성을 고려하여 개발하였으며 특히, 사용하는데 있어서 조작 및 편의성을 최적화하고자 소형화하여 개발하여 사용상의 불편함이 있던 기존 프로브의 제약을 극복할 수 있었다. 이를 통해 실제 임상을 진행하여 고해상도의 고막천공의 2차원 영상을 얻을 수 있었으며 그 결과 고막과 정원창 사이에 다른 조직이 유착되어 있는지, 고막의 두께, 조직의 단면상태 확인이 가능하여 검이경을 통해 육안으로 관찰한 진단에 비해 고막 상

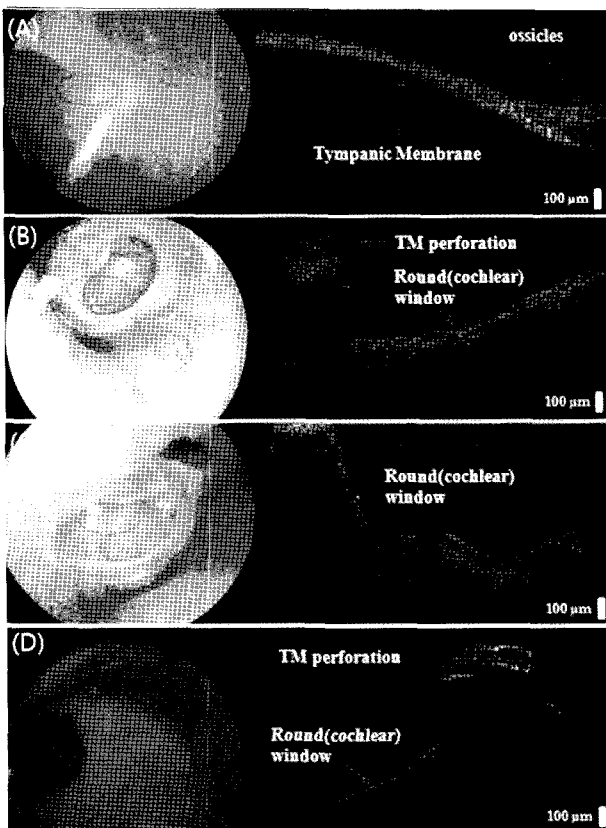


그림 3. 정상 고막의 검이경 이미지와 OCT 이미지. (B,C,D) 고막 천공 환자의 고막에 대한 검이경 이미지 및 OCT 이미지
 Fig. 3. (A) A otoscope image and a OCT image of normal tympanic membrane. (B, C, D) Otoscope images and OCT images of tympanic membrane perforation

태를 보다 정확하게 판단할 수 있어 임상 의사 환자를 진료함에 있어서 기존의 검이경과 내시경을 대체할 수 있는 차세대 검이경으로 사용할 수 있을 것으로 기대한다. 향후 고막천공 진단에 대한 신뢰성을 높이기 위하여 3D 영상 획득에 대한 연구 및 OCT와 카메라의 기술융합을 통해 진단부위의 표면을 확인하기 위한 추가적인 연구의 진행이 필요할 것으로 생각한다.

참고문헌

- [1] Huang D, Swanson E.A, Lin C.P, Schuman J.S, Stinson W.G, Chang W, Hee M.R, Flotte T, Gregory K, Puliafito C.A, Fujimoto J.G, "Optical coherence tomography", *Science*, vol. 254, no. 5035, pp. 1178-1181, 1991.
- [2] J. M. Schmitt, "Optical coherence tomography(OCT): A Review", *IEEE Journal of selected topics in quantum electronics*, vol. 5, no. 4, pp. 1205-1215, 2007.
- [3] Fujimoto J.G, Brezinski M.E, Tearney G.J, Boppart S.A, Bouma B, Hee M.R, Southern J.F, Swanson E.A, "Optical biopsy and imaging using optical coherence tomography", *Nature Medicine*, vol. 1, no. 9, pp. 970-972, 1995.
- [4] A. F. Fercher, W. Drexler, C. K. Hitzenberger and T. Lasser, "Optical Coherence tomography-principles and applications", *Reports on Progress in Physics*, vol. 66, no. 2, pp. 239-303, 2003.
- [5] Jeehyun Kim, Bong-Soo Sohn, Thomas E.Milner, "Real-time Retinal Imaging with a parallel optical coherence tomography using a CMOS smart array detector", *Journal of the Korean physical society*, vol. 51, no. 5, pp. 1787-1791, 2007.
- [6] M.C. Pierce, J. Strasswimmer, B.H. Park, B. Cense, and J.F. de Boer, "Birefringence measurements in human skin using polarization-sensitive optical coherence tomography", *Journal of Biomedical Optics*, vol. 9, no. 2, pp. 287-291, 2004.
- [7] Barry Cense, Nader A. Nassif, "Ultra-high-resolution high-speed retinal imaging using spectral-domain optical coherence tomography", *Optics Express*, vol. 12, no. 11, pp. 2435-2447, 2004.
- [8] Lee Sang-Won, Oh Jung-Taeck, Kim Beop-Min, "Microscopic Imaging of Articular cartilage using Polarization-Sensitive Optical Coherence Tomography", *Journal of Biomedical Engineering Research*, vol. 26, no. 1, pp. 37-42, 2005.
- [9] Brett E. Bouma, Guiillermo J. Tearney, *Handbook of Optical Coherence Tomography*, Marcel Dekker, Inc. 2002.
- [10] Pitris C, Saunders KT, Fujimoto JG, Brezinski ME, "High-resolution imaging of the middle ear with optical coherence tomography: a feasibility study", *Archives of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, vol. 127, no. 6, pp. 637-642, 2001.
- [11] Nam Hyun Cho, Unsang Jung, Hyeong Il Kwon, Hyosang Jeong, and Jeehyun Kim, "Development of SD-OCT for Imaging the in vivo Human Tympanic Membrane", *Journal of the optical Society of Korea*, vol. 15, no. 1, pp. 74-77, 2011.
- [12] Cac T. Nguyen, Haohua Tu, Eric J. Chaney, Charles N. Stewart, and Stephen A. Boppart, "Non-invasive optical interferometry for the assessment of biofilm growth in the middle ear", *Biomedical Optics Express*, vol. 1, no. 4, pp. 1104-1116, 2010.