

압력을 이용한 광선 투과도 증가에 대한 연구

여창민¹, 손태윤¹, 정병조^{1,2}
¹연세대학교 보건과학대학 의공학부
²연세대학교 의료공학연구소

Study for increase of Light Transmission by applying Pressure

Changmin Yeo¹, Taeyoon Son¹, Byungjo Jung^{1,2}

¹Department of Biomedical Engineering, Yonsei University, Wonju, Korea
²Institute of Medical Engineering, Yonsei University, Wonju, Korea

Abstract - Laser has been applied in various diagnostic and therapeutic medical fields. For last few decades, medical low-level laser devices have been introduced in market, but they have limitations which cannot convey enough energy to deep layer of tissues for diagnostic or therapeutic purposes. To address the issue, there have been many studies of using physical and chemical methods; it is one of ways to apply negative or positive pressure to tissue. However, it is hard to apply desired pressure on tissues continuously when practical laser devices are used. In this study, we introduce a low-level laser probe which allows maintain pressure on skin tissue. Consequently, we are confident that the pressure probe for low-level laser treatment should be a useful tool in order to deliver sufficient energy for practical uses.

1. 서 론

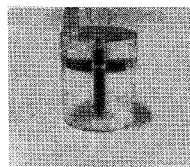
1960년 루비(ruby) 레이저(LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)가 개발된 이후부터 현재까지 레이저 자체의 연구 외에도 응용연구가 활발히 이루어지며 다양한 분야에서 사용되고 있다. 특히 의료분야에서는 진단 및 치료의 목적으로 응용되고 있는데, 의료용으로 레이저가 많이 활용되고 있는 것은 응고에 의한 무혈 수술이 가능하고, 생체조직(Biological tissue)내 발색단(chromophore)의 흡수파장(absorption wavelength)에 일치하는 레이저를 적용함으로써 선택적인(selective) 시술이 가능하기 때문이다[1]. 그러나, 레이저가 생체조직에 조사될 때 발생하는 다양하고 복잡한 상호작용으로 인하여 실제 시술에서 치료효율을 감소시키는 요인으로 작용한다.

레이저가 생체조직에 조사될 때 투과(transmission), 반사(reflection), 산란(scattering) 그리고 흡수(absorption)의 4가지 기본적인 상호작용이 발생한다[2]. 의료분야에서 레이저 치료기전으로 작용하는 것은 위 작용 중 흡수 작용으로 인한 것이며, 레이저가 생체조직에 효과를 발생시키기 위해서는 반드시 생체조직에 흡수되어야 한다[3]. 특히 피부의 심부조직(deep tissue layer)에서 레이저의 흡수율을 높이기 위해서는 레이저의 투과 깊이가 향상되어야 한다. 그러나 위 상호작용 중 생체조직의 산란작용은 특정 발색단이 흡수하는 파장의 레이저가 목표 깊이까지 도달하기 전 산란되어 레이저의 투과 깊이를 제한하고 결과적으로 목표한 발색단에 도달하는 레이저의 에너지 밀도를 감소하여 레이저 치료효율을 떨어뜨린다.

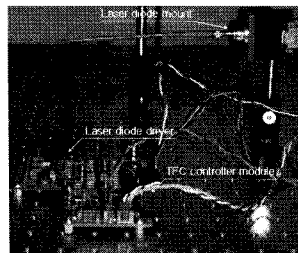
이런 한계를 극복하기 위하여 연구되고 있는 방법 중, 압력을 인가하여 레이저의 투과도를 높이는 방법이 활발하게 진행 중이다. 그러나 아직 실제 임상에서 적용이 가능한 효율적으로 압력을 인가하는 방법은 고안되지 않고 있다[4]. 본 연구에서는 저출력 레이저의 치료 효율을 향상하기 위하여 압력을 인가함으로써 효과적으로 생체조직내 레이저 투과도를 증가시킬 수 있는 압력 인가형 저출력 레이저 프로브를 개발하였다. 돼지피부(porcine skin) 샘플을 이용한 ex-vivo 실험을 통하여 개발된 레이저 프로브가 생체조직내 레이저 투과도를 증가시키는 결과를 도출함으로써 임상 적용 가능성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

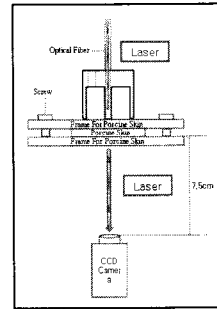


(a) 압력인가용 프로브

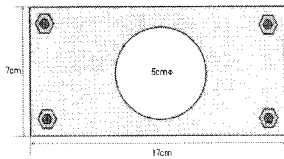


(b) 레이저 발전부

<그림 1> 압력인가를 위한 프로브와 레이저 발전부



(a) 실험 구성도



(b) 고정판

<그림 2> 실험구성도와 고정판

2.1.1 샘플 준비

본 실험은 돼지피부 조직을 사용한 ex-vivo 실험으로 그림 1-(a)의 압력 인가용 프로브를 사용하여 조직에 음압을 인가함과 동시에 레이저 조사를 하였다. 이를 위하여 돼지피부는 7×16cm²의 크기로 총 5회의 반복실험을 위한 5개의 샘플이 준비되었고 중심부의 평균두께를 산출하기 위해 각기 다른 네 방향의 두께를 평균하여 평균두께는 2.8mm로 전체의 표준편차는 0.283을 보였다. 이 평균두께와 각기 샘플들의 측정된 네방향의 두께는 0.15~0.75mm 차이를 나타냈다.

2.1.2 영상 획득 시스템

그림 1-(a)는 압력인가와 레이저조사가 동시에 가능하도록 제작된 압력인가용 레이저 프로브로서, 압력을 인가하기 위한 공기 흡입구와 레이저 조사를 위해 광섬유가 삽입가능하도록 하였으며 압력인가로 프로브내에 형성되는 음압의 영향으로부터 안정적으로 광섬유를 지지할 수 있도록 황동으로 제작된 가이드를 지나게 된다. 프로브의 전체적인 재질은 조직의 변형상태를 확인할 수 있도록 투명아크릴 재질로 제작되었다. 특히 황동으로 제작된 가이드는 레이저를 피부에 조사할 경우 발생하는 여러 가지 상호작용 중, 조직의 표면반사로 인한 생체조직내 투과량 감소를 줄이고 프로브내의 음압(negative pressure)으로 인해 레이저 조사부위의 양압(positive pressure) 형성을 위해 피부조직에 광섬유가 접촉되는 방식으로 조사되도록 구성되었다.

그림 1-(b)는 레이저조사를 위한 레이저 발전부로서 808nm의 200mW출력을 가진 레이저 다이오드와 광섬유포트(PAF-SMA-11-B), 비구면 렌즈(aspheric lenses, C570TM-B, A230TM-B)가 포함된 레이저 다이오드 마운트(LDM21)와 TEC 콘트롤러 모듈(TCM1000T)과 레이저 다이오드 드라이버(IP500)로 구성되어 있으며, 멀티모드 광섬유 패치코드(0,39NA, SMA type, FT1.5EMT)로 구성되어 있다.

그림 2-(b)는 음압인가와 동시에 레이저조사시 돼지피부 조직의 위치변화를 막기위한 고정판으로서 ex-vivo 실험에서 피부조직을 고정하여 그림 1-(a)의 프로브로 레이저 조사 및 음압적용시 안정적으로 CCD의 영상획득이 가능하도록 7×17cm²와 지름 5cm의 구경을 갖는 알루미늄 재질로 제작되었다.

2.1.3 실험방법

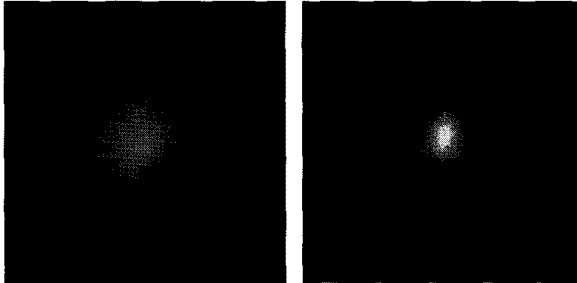
본 실험에서는 조직에 압력을 인가하는 방법을 사용하였다. 그림 2-(a)는 압력이 저출력 레이저의 생체조직 투과도에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험 구성도로 그림 2-(b)의 고정판으로 돼지피부 조직을 고정하고 레이저 프로브에 음압을 인가 후 동시에 레이저를 조사하여 돼지피부를 투과한 레이저의 확산영상(diffusion image)을 CCD로 획득하게 된다. 실험결과와 신뢰성 확인을 위해 총 5회의 반복실험을 진행하였으며 레이저 프로브에 35Kpa의 일정 음압을 인가하기 위해 모터장치를 사용하였다. 실험진행시 광섬유 끝단에서 측정된 레이저의 실제출력은 약 40~42mW였으며 돼지피

부조직에 압력을 인가할 시 압력인가 전 상태에서 영상획득 후 압력인가 후 상태를 측정하는 순서로 진행하였다.

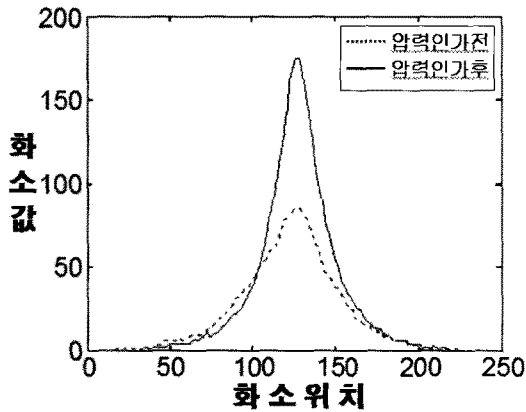
2.1.4 영상분석

압력인가 전/후의 빛의 세기(intensity) 변화를 알아보기 위해 CCD로 레이저의 확산영상(diffusion image)을 획득하였고 영상처리는 MatLab 프로그램 사용하였으며, 각 영상에서 레이저 확산영상을 포함한 251x251pixel의 조건을 적용하였다. CCD로 획득한 확산영상에서 그림 4와 같이 화소위치에 따른 화소값 분포를 확인하여 압력인가 전과 후를 비교하였으며 압력인가 전과 후의 빛의 세기(intensity)변화를 확인하기 위하여 획득영상에서 라인스캔을 통한 세기의 최대값을 도출하여 표 1과 같이 비교하였다.

2.2 실험결과



〈그림 3〉 압력인가 전(좌)과 후(우)의 원본 영상비교



〈그림 4〉 압력인가를 위한 프르브와 레이저 발진부

그림 3은 음압을 인가하면서 동시에 레이저를 조사할 수 있도록 제작된 그림 1의 프르브를 이용한 총 5회의 반복실험 중 1회의 압력인가 전(좌)과 후(우)의 원본 영상이며 그림 4는 그림 3의 원본영상을 영상처리하여 화소값을 비교하여 나타낸 그래프이다. 그래프에서 점선의 압력인가 전과 실선의 압력인가 후를 비교하여 보면 인가 전에 비해 압력인가 후, 레이저가 중앙에 집중되면서 레이저의 세기(Intensity)가 증가한 것을 볼 수 있으며, 레이저 빔의 FWHM(full width at half maximum)이 상대적으로 감소한 것을 볼 수 있다. 매회 다른 폐지과부 샘플을 사용하여 표 1과 같이 총 5회 반복 실험 결과, 중앙에 집중된 레이저세기의 최대치는 측정결과 평균 76.6에서 187.2로 증가하였으며 조사된 레이저의 세기의 최대치는 평균 2~2.5배의 증가율을 보였다. 본 실험을 통해, 저출력 레이저를 조사할 수 있는 압력인가용 프르브를 사용하여 레이저를 조사함과 동시에 일정 압력을 인가함으로써 생체조직내 광선 투과도가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

〈표 1〉 압력에 따른 화소값 최대치 변화

	1회	2회	3회	4회	5회
압력인가전	76	90	71	61	85
압력인가후	178	198	239	146	175

3. 결 론

레이저와 생체조직의 상호작용으로 일어나는 작용 중 반사와 산란현상은 저출력 레이저가 심부조직의 발색단(chromophore)에 레이저의 에너지가 흡수되는 것을 저해하는 주요 요인이 된다. 저출력 레이저를 이용한 기존의 방법들은 생체조직에서의 표면반사와 내부반사, 산란현상 등으로 인하여 생체조직내 투과도 및 집중도가 현저히 떨어져 심부조직에서 긍정적인 치료 효과를 가졌지기 어렵다.

이번 연구에서는 생체조직내 광선 투과도 증가를 위해 생체조직에 압력을 인가하여 압력인가 전과 후의 영상을 획득하여 광선투과도를 비교하였다. 그림 4에 나타난 바와 같이 점선의 압력인가 전의 경우에 비해 실선의 압력인가 후의 경우에서 약 2배이상 증가한 것을 알 수 있다. 전체적으로는 총 5회 반복실험시 평균투과율이 2~2.5배 정도 증가하였다. 이는 압력인가 시 세포사이의 공간감소로 인하여 상피세포(epidermis)의 두께가 감소하여 빛의 이동경로가 줄어들고 이로인해 상피세포 아래의 조직에 더 많은 빛을 전달하게 된다. 실제 실험에서 압력인가시의 두께감소를 측정하지는 않았으나 기존의 연구결과에서와 같이, 세포형태학(tissue morphology)에서 세포의 변형(deformation)은 상피조직이 늘어남(stretching)과 두께감소(thinning), 혈관확장(blood vessel dilation), 혈관의 깊이(blood vessel depth)에 영향을 주고, 수학적 모델링 결과, 압력이 증가할수록 상피세포의 두께는 선형적으로 감소하여[5] 이에 기초하여 두께감소가 일어난다고 가정하였다. 또한 생체조직에의 압력인가는 단백질섬유(collagen fibrils)에 있는 수분이 탈수현상(dehydration)을 일으켜 단백질(protein)과 뮤코다당(mucopolysaccharide)과의 결합을 증가시켜 조직내 세포들의 굴절률 정합(refractive index match)에 가까운 환경이 조성되어 결과적으로 투과율이 증가하였다[6,7].

본 연구의 실험에서 광선투과도량의 변화를 효과적으로 확인하기 위하여 피부조직이 선형적으로 변형되는 조건을 적용하여 프르브내의 음압을 위해 35Kpa를 인가하여 압력을 인가하지 않은 조건과 비교를 하였다. 또한 레이저 조사 전후의 조사위치변화에 따른 오차를 최소화하기 위하여 압력인가 전 상태에서 측정된 후 동일 위치에서 압력을 인가하는 순서로 실험을 진행하였다. 총 5회의 반복실험에서는 인가되는 압력이 동일하도록 설정된 모터장치를 사용하였으며 레이저 조사시 입사각 변화에 따른 레이저 세기의 오차를 최소화하기 위해 실험 전 고정판의 수평을 점검하였다.

본 연구의 결과는 압력을 인가함으로써 생체조직에 대한 저출력 레이저의 투과도 증가를 보여주었으며 생체조직에 대한 다른 광원의 투과도향상에도 가능성을 보여주었다. 또한 현재 임상에서 적용되고 있는 저출력 레이저 치료기의 치료효율 향상 가능성을 제시하였다. 본 연구결과를 통해 향후 압력에 따른 광선의 투과정도를 정량화시키는 연구가 필요함을 확인하였으며 투과도에 따른 정량화된 압력정도를 제어할 수 있는 시스템 개발의 필요성을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] E. Hecht, "Optics", Addison Wesley, 4th ed, pp.705, 2002
- [2] R. R. Anderson, J. A. Parrish, "Selective photothermolysis: precise micro-surgery by selective absorption of pulsed radiation", Science, vol. 220, pp. 524-527, 1983.
- [3] R. R. Anderson, J. A. Parrish, "The optics of human skin," J. Invest. Dermatol., vol. 77, no.1, pp.13-19, 1981.
- [4] L. Carroll, T. R. Humphreys, "LASER-tissue interactions," Clin. Dermatol., vol. 24, pp.2-7, 2006.
- [5] Michael A. Childers, Walfre Franco, J. Stuart Nelson, and Guillermo Aguilar, "Laser Surgery of Port Wine Stains Using Local Vacuum Pressure: Changes in Skin Morphology and Optical Properties(Part 1)," Lasers in Surgery and Medicine, vol. 39, no. 2, pp.108-117, 2007.
- [6] H. Shangquan, S. A. Prael, S. L. Jacques, L. W. Casperson, and K. W. Gregory, "Pressure effects on soft tissues monitored by changes in tissue optical properties," in Proc. SPIE, pp.366-371, 1998.
- [7] E. K. Chan, B. Sorg, D. Protsenko, M. O'Neil, M. Motamedi, and A. J. Welch, "Effects of compression on soft tissue optical properties," IEEE J. Sel. Top. Quant. Electron., vol. 2, no. 4, pp.943-950, 1996.