J Korean Acad Pediatr Dent 43(2) 2016
ISSN (print) 1226-8496 ISSN (online) 2288-3819
http://dx.doi.org/10.5933/JKAPD.2016.43.2.158

Analysis of Photoplethysmographic Waveform for Assessment of Pulpal Blood Flow in Children

Hyo-Eun Kim[1], Teo Jeon Shin[1], Hyoun-Joong Kong[2], Pil-Jong Kim[3], Hong-Keun Hyun[1], Young-Jae Kim[1], Jung-Wook Kim[1], Ki-Taeg Jang[1], Chong-Chul Kim[1], Sang-Hoon Lee[1]

[1]Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Seoul National University
[2]Department of Biomedical Engineering, Chungnam National University College of Medicine and Chungnam National University Hospital
[3]Biomedical Knowledge Engineering Laboratory, School of Dentistry, Seoul National University

Abstract

The purpose of this study was to analyze photoplethysmographic waveforms from pulse oximeter using raw data of red and infrared light and investigate the reference values of parameters (Height, Width50, Maximum slope, Minimum slope, Area) for evaluating pulpal blood flow in maxillary central incisors with normal pulp vitality in children.

The study was performed in 30 pediatric patients, aged 7-16 years old, using pulse oximeter (MEKICS Co., Ltd, Korea) combined with a custom-made sensor. The raw data was obtained and recorded by custom-made software and analyzed by LabChart (v.7.3, ADInstruments, Germany) offline.

In this study, we analyzed photoplethysmographic waveforms from pulse oximeter applied to maxillary central incisor for assessment of pulpal blood flow and suggested several reference values of young permanent maxillary central incisor with normal pulp. On average, the waveform of red light was higher, stiffer and wider than that of infrared light. Future studies about reference values for other normal teeth and the teeth with impaired pulp vitality are needed.

Key words : Pulse oximeter, Pulpal blood flow, Photoplethysmographic waveform analysis

Ⅰ. 서 론

치아의 치수 생활력 검사는 진단과 치료 계획 수립에 있어서 술자에게 중요한 정보를 제공한다. 그러나 치수는 법랑질과 상아질과 같은 경조직 내에 존재하기 때문에 치수 생활력 검사에 어려움이 있으며 이에 따라 간접적인 방법으로 이루어지게 된다[1].

현재 널리 사용되고 있는 치수 검사 방법은 치수에 자극이 있을 때 반응이 있는지를 보는 치수 감수성 검사(pulp sensitivity test)이며 전기 치수 검사(electric pulp test)와 온도 치수 검사(thermal pulp test)가 대표적이다[2]. 그러나 이러한 검사법은 소아가 대상인 경우 여러 가지 한계점이 있다. 치수 감수성 검사는 환자가 자극에 대해 인식하는 반응과 그 반응에 대한 술자의 해석에 의존하는 주관적인 검사법이며[3], 검사에 사용되는 자극이 불쾌한 자극으로 인식되어 소아의 행동조절이나 협조를 얻기 어려울 수 있다[4].

또한, 유치와 미성숙 영구치의 경우 치수 통증 반응과 연관된 알파 유수신경이 충분히 발달되어 있지 않기 때문에[5] 치수 감수성 검사에 대한 유치와 미성숙 영구치의 역치가 높아 위음성이 나올 가능성이 높다.

*Corresponding author : Teo Jeon Shin, Sang-Hoon Lee**
Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Seoul National University, 101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul, 03080, Korea
*Tel: +82-2-2072-2607 / Fax: +82-2-744-3599 / E-mail: snmc94@snu.ac.kr *Tel: +82-2-2072-2680 / Fax: +82-2-744-3599 / E-mail: musso@snu.ac.kr*
Received August 20, 2015 / Revised November 5, 2015 / Accepted November 5, 2015

또 다른 문제점은 치수 감수성 검사는 치수의 혈류가 아닌 신경의 반응만을 측정하므로 혈류의 유무와 상관없이 신경조직의 손상여부에 따라서 위양성 또는 위음성의 결과를 얻을 수 있다.

이와 같이 치수 감수성 검사에 대한 한계점을 고려해 볼 때 정확한 치수 검사 방법은 신경학적 접근이 아닌 혈류학적 접근이 이루어져야 하는 것이 타당하다. 최근 치수의 혈류를 측정하기 위해 LDF (laser doppler flowmetry)[6,7], dual wavelength spectrophotometry[8], 맥박산소측정기(pulse oximeter)[9,10]의 사용이 시도되고 있다. 이 중 맥박산소측정기는 LDF에 비해 비용이 저렴하고 비침습적으로 치수의 혈류를 측정할 수 있으며 다른 치수 감수성 검사와 비교 시 민감도, 특이도가 뛰어나 혈류학적 접근을 통한 치수 검사 방법의 도구로 주목 받고 있다[11].

맥박산소측정기는 660 nm의 적색 파장과 940 nm의 적외선 파장을 이용하는데 이 두 파장에 대하여 혈액 내 산소와의 결합 여부에 따른 헤모글로빈(hemoglobin)의 흡수량의 차이를 이용한다. 즉, 이 두 파장의 빛을 조직에 통과시켰을 때 옥시헤모글로빈(oxyhemoglobin)과 디옥시헤모글로빈(deoxyhemoglobin)이 각 파장의 빛을 흡수하는 정도가 다른데 적색 파장에서는 디옥시헤모글로빈이 더 많은 빛을 흡수하고 적외선 파장에서는 옥시헤모글로빈이 더 많은 빛을 흡수한다. 조직을 통과하면서 옥시헤모글로빈과 디옥시헤모글로빈에 의해 흡수되지 않고 통과한 두 파장의 빛을 광검출기가 인식하고 그 결과를 처리하여 산소포화도, 심박수, 광용적맥파 파형(photoplethysmographic waveform)등의 형태로 스크린에 나타낸다.

치수 생활력을 측정하기 위해 맥박산소측정기의 산소포화도를 이용한 시도들은 많이 이루어졌다[4,12-15]. 그러나 치수의 혈류상태의 변화에 대한 정확한 정보를 얻기 위해서는 산소포화도보다는 박동성 혈류에 대한 정보를 반영하는 광용적맥파 파형의 분석이 필요하다[16].

본 연구는 맥박산소측정기를 이용하여 광용적맥파 파형의 원데이터를 기록하고 분석함으로써 치수 생활력 측정에 이 원데이터 분석의 적용가능성을 살펴보고 정상 치수 생활력을 갖는 소아환자의 상악 중절치에 대한 광용적맥파 파형의 파라미터에 대한 기초 자료를 마련할 목적으로 시행되었다.

Ⅱ. 연구 재료 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 서울대학교치과병원 연구윤리위원회(IRB)의 승인을 획득하고, 보호자가 본 연구에 대하여 설명을 듣고 서면으로 동의를 한 환아에서 시행하였다.

연구 대상은 주기적 구강검진을 위해 서울대학교치과병원 소아치과를 내원한 만 7세에서 16세 사이의 환아 중 다음의 조건을 만족하는 경우를 포함하였다.

1) 전신질환이 없는 경우
2) 상악 중절치에 치수 염증이나 괴사와 같은 치수의 병적 소견이 관찰되지 않는 경우
3) 상악 중절치에 치아우식이나 수복물이 없는 경우
4) 상악 중절치에 외상의 경력이 없는 경우
5) 상악 중절치에 법랑질의 결함이나 변색이 없는 경우
6) 복용하는 약물이 없는 경우

위의 조건을 만족시키는 총 30명의 환아(남 16명, 여 14명)을 대상으로 하였으며 실험에 참가한 환아의 평균연령은 11.4세였다.

2. 연구 방법

연구에 사용한 맥박산소측정기는 MP570T (MEKICS Co., Ltd, Korea)였으며 측정을 용이하게 하기 위해 집게를 이용한 맞춤형 센서를 제작하여 이용하였다(Fig. 1).

맞춤형 센서는 손가락에 사용하는 센서에서 적색 파장과 적외선 파장의 빛을 내는 LED (light emitting diode)부위와 광검출기 부위를 분리하여 상악 중절치에 적용하기에 더 적합한 집게에 부착하여 치아에 센서를 적용하였을 때 LED와 광검출기가 치아 장축에 평행하게 위치될 수 있도록 하였다. 환자는 앙와위 자세에서 10분 정도 안정을 취한 뒤 측정을 시작하였으며 LED 부위가 치아의 순측에, 광검출기는 구개측에 위치한 상태에서 상악 중절치의 치은에서 3 mm 정도 떨어진 치관 중앙에 센서를 위치시킨 후 최대한 밀착시켜서 고정하였다. 광용적맥파 파형이 탐지되기 시작한 시점부터 약 1분간 측정하여 기록하였다(Fig. 2).

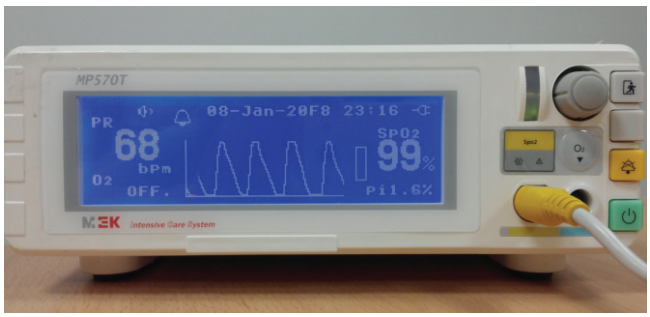

Fig. 1. Pulse oximeter, MP570T (MEKICS Co., Ltd, Korea).

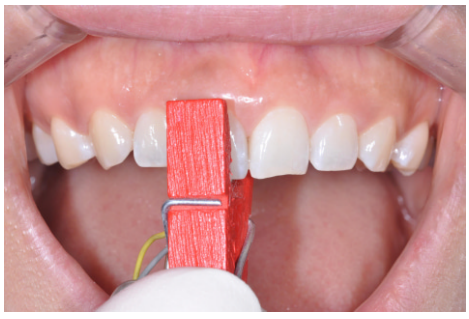

Fig. 2. Application of a custom-made sensor to central incisor.

3. 자료분석

측정을 통해 얻어진 광용적맥파 파형의 데이터는 보정(calibration)되지 않은 적색 파장과 적외선 파장의 원데이터(raw data) 형태로 저장되는 소프트웨어를 이용하여 300 Hz로 기록되었으며 기록된 원데이터는 Labchart (v.7.3, ADIstruments, Germany) 프로그램의 peak analysis module을 이용하여 분석하였다.

얻어진 데이터를 Matlab R2014b (Mathworks, USA)를 이용하여 주파수 도메인(frequency domain)으로 푸리에 변환(Fourier transformation)을 통해 스펙트럼 분석하여 확인한 결과 잡음이 관찰되는 소견이 발견되어 0.5-2 Hz의 대역필터(band pass filtering) 시행하여 호흡이나 움직임 등에 의한 잡음을 제거하였다(Fig. 3). 필터링하여 얻어진 적색 파장, 적외선 파장 곡선에 대해 Height, Width50, Max slope, Min slope, Area의 평균 및 표준오차를 계산하였다(Fig. 4).

Ⅲ. 연구 성적

맥박산소측정기를 이용하여 정상 치수생활력을 갖는 소아 환자의 상악 중절치를 측정한 결과 모든 소아 환자에서 주기적인 파동성의 광용적맥파 파형을 관찰할 수 있었다.

적색 파장과 적외선 파장의 광용적맥파 파형 분석 결과를 통해 얻은 각 파라미터의 평균과 표준편차는 다음과 같다(Table 1, 2).

적색 파장과 적외선 파장에서 각 파라미터 평균의 절대값을 비교하였을 때 Width50을 제외한 모든 파라미터에서 적외선 파장보다 적색 파장에서 모두 큰 값을 나타내어 적색 파장의 파형이 적외선 파장의 파형보다 높이가 더 높고 변화가 급격하면서 면적도 넓은 것으로 나타났다(Fig. 5). 다른 파라미터들과는 달리 Width50은 적색 파장과 적외선 파장에서 비슷한 분포를 나타내었으며 이는 통계적으로 유의할 만한 차이를 나타내지 않았다(p = 0.719, Wilcoxon signed rank test).

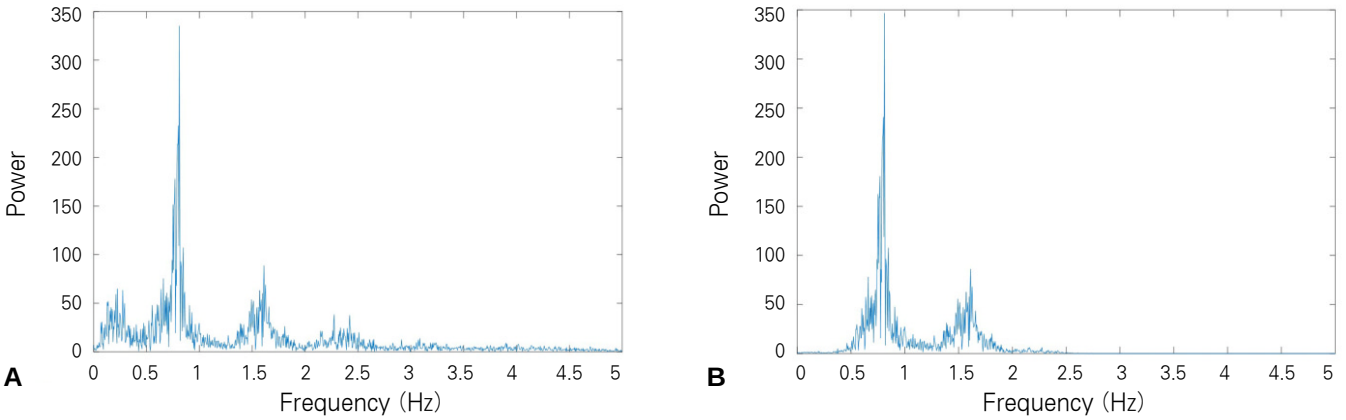

Fig. 3. (A) Power spectrum of the PPG signal identifying the dominant amplitudes in the PPG signal at 0.5-2 Hz. (B) After band-pass filtering at 0.5-2 Hz to remove artifacts.

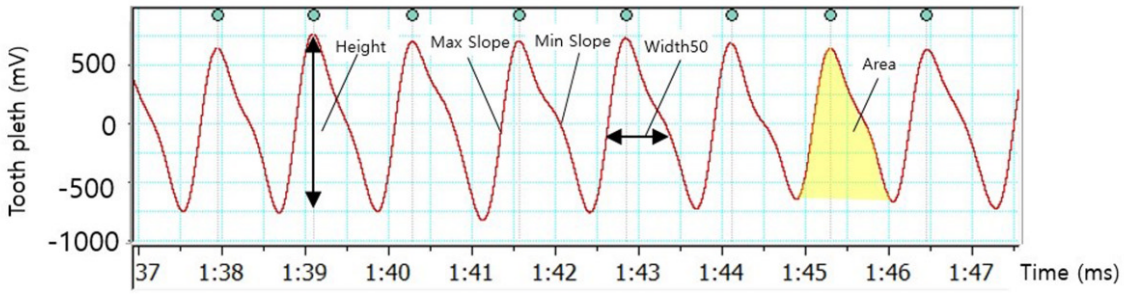

Fig. 4. Photoplethysmographic waveform parameters: Height (Signal level minus the base lines, at the peak), Max slope (maximum slope over the whole peak), Min slope (minimum slope over the whole peak), Width50 (time interval from first to last crossing of 50% of the height), Area (area under curve).

Table 1. Photoplethysmographic waveform parameters of red signal

Patient No.	Height (mV)	Width (ms)	Max Slope (mV/ms)	Min slope (mV/ms)	Area (V.ms)
1	1235	561.2	4338	-3788	238.9
2	1411	661.4	5675	-2722	287.6
3	1349	505.7	5645	-3355	284.8
4	1333	548.5	5370	-4235	282.6
5	1216	470.3	5134	-3571	247.4
6	1346	566.8	5341	-3205	278.1
7	1430	530.0	5401	-4192	297.4
8	1463	858.5	5737	-2904	309.1
9	1284	554.6	5056	-3701	264.8
10	1259	685.2	4757	-2976	253.9
11	1504	555.3	5609	-5040	292.1
12	1326	501.5	5160	-3866	271.1
13	1462	556.8	5723	-3992	298.6
14	1322	492.7	5487	-3966	273.6
15	1379	618.7	5283	-3633	279.7
16	1344	535.7	4528	-4528	269.1
17	1385	533.6	5067	-4748	277.1
18	1373	522.0	5421	-4623	278.6
19	1414	545.1	5087	-4130	289.3
20	1409	526.9	5216	-4695	281.2
21	1430	623.6	5192	-4544	282.7
22	1385	582.2	5323	-3733	281.0
23	1417	541.5	5530	-4274	294.0
24	1423	566.7	5460	-4460	290.6
25	1302	655.1	4708	-3499	265.8
26	1402	662.1	5111	-4189	277.9.
27	1475	541.0	5565	-4736	295.9
28	1460	535.4	5793	-4112	300.4
29	1295	646.5	4469	-3209	259.5
30	1498	540.0	5341	-4427	292.5
평균	1377.7	574.2	5250.9	-3968.4	279.8
Max	1504.0	858.5	5793.0	-2722.0	309.1
Min	1216.0	470.3	4338.0	-5040.0	238.9
SD	75.9	76.5	382.0	603.9	16.1

Table 2. Photoplethysmographic waveform parameters of infrared signal

Patient No.	Height (mV)	Width (ms)	Max Slope (mV/ms)	Min slope (mV/ms)	Area (V.ms)
1	255.8	649.4	855.1	-551.9	38.9
2	223.0	602.8	921.7	-557.0	46.0
3	247.6	525.5	1869	-787.1	72.9
4	125.3	548.7	482.9	-459.2	26.0
5	110.8	560.6	396.6	-358.2	21.9
6	76.3	584.1	287.4	-254.4	15.6
7	81.4	650.9	288.4	-246.9.0	16.2
8	88.2	638.0	334.1	-241.0	16.9
9	154.5	554.8	583.1	-531.5	31.6
10	57.4	559.2	184.1	-219.4	10.7
11	260.1	560.1	872.1	-892.0	52.1
12	277.7	571.0	879.8	-1001.0	53.3
13	347.7	554.7	1343.0	-1048.0	69.4
14	171.9	469.7	640.7	-670.9	33.7
15	99.2	590.9	381.8	-351.1	20.1
16	365.5	576.0	1204.0	-1207.0	66.8
17	215.4	543.7	732.7	-840.6	41.0
18	290.7	561.9	1028.0	-1082.0	58.6
19	307.4	545.2	1113.0	-1035.0	62.0
20	218.7	581.6	693.0	-856.4	39.6
21	424.0	596.2	1540.0	-1504.0	82.9
22	133.1	614.4	473.8	-494.8	25.9
23	154.9	559.4	590.7	-507.1	31.3
24	347.9	534.0	1343.0	-1268.0	68.6
25	303.0	666.9	1208.0	-1138.0	60.4
26	115.4	552.5	420.9	-476.8	24.2
27	222.7	547.5	800.1	-747.3	45.5
28	243.4	536.3	983.9	-759.7	50.6
29	226.9	542.3	827.5	-729.5	46.0
30	117.2	516.5	388.9	-432.5	21.5
평균	208.8	569.8	788.9	-708.3	41.7
Max	424.0	666.9	1869.0	-219.4	82.9
Min	57.4	469.7	184.1	-1504.0	10.7
SD	97.9	42.8	412.3	342.2	19.9

Ⅳ. 총괄 및 고찰

맥박산소측정기는 비침습적이고 경제적인 방법으로 혈류학적 측면에서 치수생활력을 측정할 수 있다는 점에서 최근 주목 받고 있으나 대부분의 연구가 산소포화도만을 이용했다는 한계점이 있다. 맥박산소측정기의 산소포화도는 조직을 통과하고 광검출기에 탐지되는 적색 파장, 적외선 파장의 비율을 자동보정(autocalibration)하여 얻은 수치이기 때문에 엄밀히 말하면 측정하는 조직의 혈류에 대한 정확한 정보를 나타내기에는 한계가 있다. 맥박산소측정기는 산소포화도와 함께 광용적맥파 파형도 제공한다. 광용적맥파는 1930년대에 임상적으로 소개되었으나 산소포화도 측정에 사용되면서 광용적맥파 자체의 잠재적 이용 가능성은 간과되어 왔다. 그러나 최근 반도체와 전산기술이 발달함에 진단학 분야에서 그 활용이 활발히 연구되고 있다[17].

Shelley[18]는 맥박산소측정기에서 측정되는 광용적맥파가 산소포화도를 측정하기 위한 것 이상으로 임상적으로 이용가치가 있음에 주목하였으며 맥박산소측정기의 광용적맥파의 사용을 위해서는 맥박산소측정기의 스크린에 나타나는 자동 보정된 값이 아닌 광용적맥파의 원데이터의 접근이 가능해야 하며 이러한 원데이터의 제시방법과 분석방법이 함께 고려되어야 한다고 하였다.

또한, Aymen 등[19]은 건강한 성인을 대상으로 하체에 음압을 걸어 혈액이 하지에 몰리게 함(Lower body negative pressure)으로써 신체 내의 혈류를 감소시킴에 따라 손가락의 광용적맥파 파형이 어떻게 변화하는지 알아보았다. 그 결과 하체에

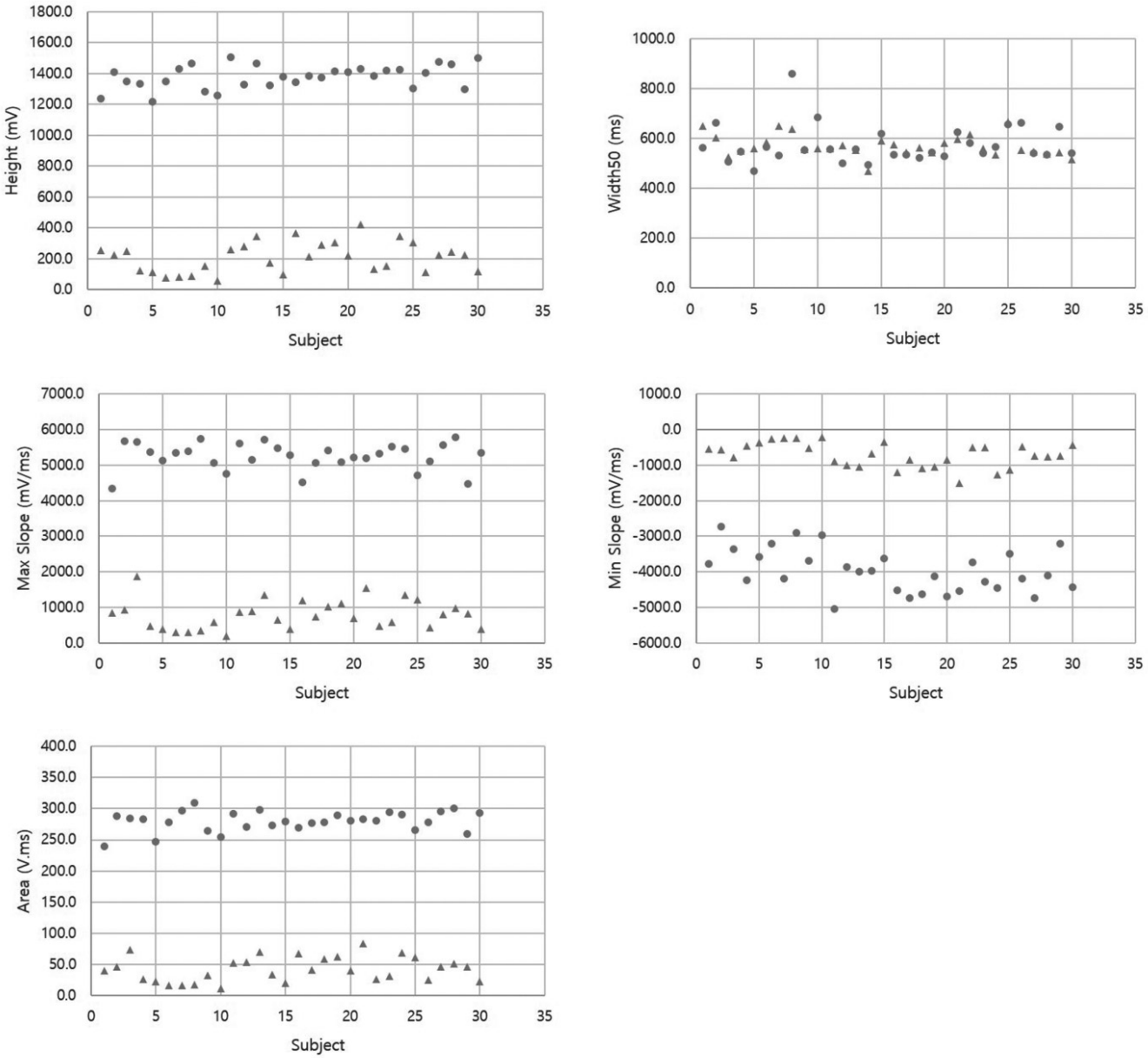

Fig. 5. Scattergrams of PPG parameters of red and infrared signal (● : red signal, ▲ : infrared signal).

건 음압이 커져서 신체의 혈류를 감소시킴에 따라 본 연구에서 측정된 Height, Width 50, Max slope, Min slope, Area에 해당하는 값이 모두 감소하며 음압을 제거하여 신체의 혈류량이 회복되는 단계에서는 이러한 값들이 다시 증가함을 보임으로써 광용적맥파 파형의 분석이 혈류에 대한 정보를 제공할 수 있음을 제시하였다.

본 연구는 치수의 혈류측정을 위해서는 맥박산소측정기의 산소포화도보다 광용적맥파의 분석이 더 적합하다는 것에 착안하여 손가락이나 귀와 같이 치아에서도 광용적맥파의 측정이 가능함을 보이고 정상 치수 생활력을 갖는 상악 중절치에서 측정한 광용적맥파의 원데이터 분석을 통해 광용적맥파 파형의 파라미터에 대한 기준값과 정상범위를 제시함으로써 앞으로 치수생활력 측정에서 광용적맥파를 활용할 수 있는 연구방법의 기초를 마련한 데 그 의의가 있다. 이 연구를 기초로 하여 염증상태나 외상, 치수괴사 등과 같이 치수의 병적 변화에 따른 혈류의 변화를 광용적맥파 파형 분석을 통해 측정할 수 있으며 그 변화 정도를 정량화할 수 있다.

Kim[20]은 염증으로 인해 치수괴사가 일어나는 과정에서 치수의 혈류의 변화에 대해 다음과 같이 제시하였다. 치아에 염증반응이 나타나면 브라디키닌, 히스타민, 세로토닌, 프로스타글란

딘 등이 조직과 세포로부터 분비되어 혈관이 확장되고 혈관의 투과도가 증가하여 치수내의 혈류가 증가한다. 또한 이러한 화학물질들은 교감신경에 대한 혈관의 반응성도 감소시켜서 혈류 증가 시 교감신경의 작용에 의한 혈관수축이 일어나지 못하게 한다. 따라서 치수에서의 염증반응의 초기단계는 다른 조직과 같이 혈류가 증가하게 된다. 그러나 치수는 다른 조직과는 달리 법랑질, 상아질과 같은 경조직 내에 있기 때문에 기계적인 가요성(compliance)이 매우 낮다. 따라서 염증으로 인한 초기 혈류의 증가로 인해 조직의 압력이 증가하게 되고 증가한 조직의 압력이 치수 내의 정맥압을 초과하게 되면 혈류의 감소로 연결되어 결국 치수괴사가 일어난다. 이에 따르면 치수의 염증의 초기에는 혈류의 증가로 광용적맥파 파형의 Height, Width50, Max slope, Min slope, Area가 증가하다가 시간이 지날수록 감소하게 되고 혈류가 더 이상 존재하지 않는 치수괴사의 상태가 되면 파동성의 곡선이 거의 나타나지 않을 것으로 예상된다.

Strobl 등[21]은 외상형태에 따라 치수의 혈류 변화의 반응이 다르며 아탈구의 경우 혈류가 증가하며 함입의 경우 혈류가 감소하고 측방탈구, 정출, 완전탈구는 혈류의 변화가 없음을 밝혔다. 치수괴사가 치아의 탈구 이후 나타나는 가장 흔한 합병증이며, 치근단이 완성된 치아의 함입 이후 거의 대부분의 치아에서 나타난다는 것을 고려하여 예방적으로 발수하는 것이 추천되어 왔다. 맥박산소측정기의 광용적맥파를 이용해 외상 받은 치아의 혈류의 변화를 모니터링 할 수 있다면 치수의 허혈성 변화를 조기에 진단함으로써 염증성 치근 외흡수나 불필요한 근관치료를 피할 수 있을 것으로 생각된다.

조직의 염증 및 손상과 같은 변화가 나타나면 혈류와 조직의 대사 요구량의 변화로 연결되어 옥시헤모글로빈과 디옥시헤모글로빈의 양도 변화한다. 이에 따라 맥박산소측정기에서 사용되는 적색 파장, 자외선 파장도 조직에 의해 흡수되는 양이 달라지게 되고 결과적으로 맥박산소측정기에서 측정되는 산소포화도도 변화한다. 본 연구에서 제시한 적색 파장, 적외선 파장의 광용적맥파 파형의 파라미터의 기준치를 이용하여 치수조직의 병적 변화로 인해 산소포화도가 변화할 때 각 파장의 광용적맥파 파형이 어떻게 변화하는지를 분석한다면 치수의 생활력을 보다 객관적으로 진단할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 치수혈류측정에 맥박산소측정기의 광용적맥파 파형 분석의 사용 가능성과 정상 치수 생활력을 갖는 치아의 광용적맥파 파형의 각 파라미터에 대한 기준값을 제시했다는 점에서 의의를 갖지만 몇 가지 한계점도 존재한다.

첫 번째로 측정 대상자가 만 7세~16세 사이의 소아청소년의 상악 중절치만을 대상으로 이루어진 것으로 제시한 기준값과 정상범위가 성인 환자나 다른 치아에 적용될 수 있는지 여부에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다. 이 때 상악 중절치가 아닌 다른 치아에 센서를 적용하기 위하여 각각의 치아의 해부학적 구조와 굴절률을 고려한 센서의 디자인에 대한 고민이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

또 다른 한계점은 치수의 혈류 측정에 광용적맥파 파형 분석을 사용함에 있어서 영향을 줄 수 있는 요소들에 대한 고려가 충분하지 못하였다. 광용적맥파 파형에서 나타나는 파동성의 곡선은 기본적으로 심장의 주기적 수축에 의한 것이며 치수의 혈류는 교감신경계의 조절을 받는다. 따라서 심박수나 심박출량 등에 영향을 줄 수 있거나 교감신경계 조절에 영향을 줄 수 있는 전신질환, 약물, 환자의 자세 등이 치수 혈류와 광용적맥파 파형에 어떤 영향을 줄 수 있는지에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

Ⅴ. 결 론

만 7세에서 16세 사이의 전신질환 없는 환아를 대상으로 정상 치수 생활력을 갖는 상악중절치에 대해 맥박산소측정기와 맞춤형 센서를 이용하여 적색 파장, 적외선 파장의 광용적맥파 파형의 원데이터를 얻을 수 있었으며 이 데이터를 이용하여 치수생활력 측정에 활용할 수 있는 광용적맥파 파형의 파라미터들의 기준값과 정상범위를 제시할 수 있었다.

References

1. Rowe AH, Pitt Ford TR : The assessment of pulpal vitality. *Int Endod J*, 23:77-83, 1990.
2. Gopikrishna V, Pradeep G, Venkateshbabu N : Assessment of pulp vitality: a review. *Int J Paediatr Dent*, 19:3-15, 2009.
3. Ehrmann EH : Pulp testers and pulp testing with particular reference to the use of dry ice. *Aust Dent J*, 22 : 272-279, 1977.
4. Goho C : Pulse oximetry evaluation of vitality in primary and immature permanent teeth. *Pediatr Dent*, 21:125-127, 1999.
5. Johnsen DC, Harshbarger J, Rymer HD : Quantitative assessment of neural development in human premolars. *Anat Rec*, 205:421-429, 1983.
6. Gazelius B, Olgart L, Edwall B, Edwall L : Non-invasive recording of blood flow in human dental pulp. *Endod Dent Traumatol,* 2:219-221, 1986.
7. Wilder-Smith PE : A new method for the non-invasive measurement of pulpal blood flow. *Int Endod J,* 21:307-312, 1988.
8. Nissan R, Trope M, Zhang CD, Chance B : Dual wavelength spectrophotometry as a diagnostic test of the pulp chamber contents. *Oral Surg Oral Med Oral pathol*, 74:508-514, 1992.
9. Schmitt JM, Webber RL, Walker EC : Optical determination of dental pulp vitality. *IEEE Trans Biomed Eng*, 38:346-352, 1991.
10. Schnettler JM, Wallace JA : Pulse oximetry as a diagnostic tool of pulpal vitality. *J Endod*, 17:488-

490, 1991.
11. Dastmalchi N, Jafarzadeh H, Moradi S : Comparison of the efficacy of a custom-made pulse oximeter probe with digital electric pulp tester, cold spray, and rubber cup for assessing pulp vitality. *J Endod,* 38:1182-1186, 2012.
12. Noblett WC, Wilcox LR, Diaz-Arnold A, *et al.* : Detection of pulpal circulation in vitro by pulse oximetry. *J Endod,* 22:1-5, 1996.
13. Radhakrishnan S, Munshi AK, Hegde AM : Pulse oximetry: a diagnostic instrument in pulpal vitality testing. *J Clin Pediatr Dent*, 26:141-145, 2002.
14. Calil E, Caldeira CL, Gavini G, Lemos EM : Determination of pulp vitality in vivo with pulse oximetry. *Int Endod J,* 41:741-746, 2008.
15. Pozzobon MH, de Sousa Vieira R, Felippe WT, *et al.* : Assessment of pulp blood flow in primary and permanent teeth using pulse oximetry. *Dent Traumatol*, 27:184-188, 2011.
16. Murray WB, Foster PA : The peripheral pulse wave: information overlooked. *J Clin Monit*, 12:365-377, 1996.
17. Allen J, Overbeck K, Stansby G, Murray A : Photoplethysmography assessments in cardiovascular disease. *Meas Control*, 39:80-83, 2006.
18. Shelley KH : Photoplethysmography: beyond the calculation of arterial oxygen saturation and heart rate. *Anesth Analg*, 105:S31-36, 2007.
19. Alian AA, Galante NJ, Shelley KH, *et al.* : Impact of central hypovolemia on photoplethysmographic waveform parameters in healthy volunteers. Part 1: time domain analysis. *J Clin Monit Comput,* 25: 377-385, 2011.
20. Kim S : Microcirculation of the dental pulp in health and disease. *J Endod*, 11:465-471, 1985.
21. Strobl H, Moschen I, Emshoff I, Emshoff R : Effect of luxation type on pulpal blood flow measurements: a long-term follow-up of luxated permanent maxillary incisors. *J Oral Rehabil,* 32:260-265, 2005.

국문초록

소아 환자의 치수 혈류 평가를 위한 광용적맥파 파형 분석

김효은[1] · 신터전[1] · 공현중[2] · 김필종[3] · 현홍근[1] · 김영재[1] · 김정욱[1] · 장기택[1] · 김종철[1] · 이상훈[1]

[1]서울대학교 치의학대학원 소아치과학교실
[2]충남대학교 의과대학 의학과 의공학교실
[3]서울대학교 치의학대학원 의생명지식공학연구실

본 연구는 맥박산소측정기를 이용하여 광용적맥파 파형의 원데이터를 기록하고 분석함으로써 치수 생활력 측정에 이 원데이터 분석의 적용가능성을 살펴보고 정상 치수 생활력을 갖는 소아환자의 상악 중절치에 대한 광용적맥파 파형의 파라미터에 대한 기초 자료를 마련할 목적으로 시행되었다.

상악 중절치에 대해 정상 치수 생활력을 갖고 전신질환이 없는 30명의 환아(남 16명, 여 14명, 평균연령 11.4세)를 연구 대상으로 선정하였다. 맞춤형 센서와 맥박산소측정기를 이용하여 측정하였으며 측정결과는 적색 파장과 적외선 파장의 원데이터 형태로 기록되었고 LabChart(v.7.3, ADInstruments, Germany)를 이용하여 분석하였다.

본 연구를 통해 소아에서 정상 치수생활력을 갖는 상악 중절치에 대한 광용적맥파 파형의 파라미터의 기준값을 제시할 수 있었으며 소아의 치수혈류측정에 이러한 광용적맥파 파형 분석이 활용될 수 있음을 확인하였다.

주요어: 맥박산소측정기, 치수혈류, 광용적맥파 파형 분석