

Doppler ultrasound를 이용한 교정적 치아 이동 시 치수 혈류량의 변화의 측정- 예비실험

임경섭^a · 배영민^b · 차정열^c · 유형석^d · 황충주^e

교정적 치아 이동 시 지속되는 압력에 의해 혈류변화가 발생하게 되며, 이러한 변화양상에 있어서 선학들의 연구 방법 및 그 결과의 다양성이 존재하였다. 본 연구에서는 Doppler ultrasound를 이용하여, 교정치료 전과 교정치료 시작 3주, 6주 후 치수 혈류량의 연속적인 변화를 알아보고자 하였다. 만 15세 이상 환자 18명을 연구대상으로 Doppler ultrasound를 이용하여 상, 하악 6전치 중 경도의 총생(2 mm 미만)을 보이는 치아(총생측정: required space-available space)와 인접치아를 포함한 3개의 치아를 대상으로 치수 혈류량의 변화를 알아보았다. 연구결과 부위별(상, 하악), 치아별, 기간에 따른 치수 혈류량의 변화는 교정 치료 시작 전과 시작 후 3주, 6주 혈류량에 유의한 차이가 없었다. 또한 치수 생활력 상실의 내재적 위험성을 비교하고자 교정 치료 시작 전 치아별로 치수혈류량을 비교하였을 때, 상악에서는 측절치, 하악에서는 견치에서 통계학적으로 유의한 차이는 나타나지 않았지만, 모든 항목에서 적은 값을 나타냈다 ($p > 0.05$). 본 연구의 결과는 이후에 진행될 Doppler ultrasound의 치아이동유형, 환자의 연령을 고려한 세부적인 실험 시 방법론적인 기초 자료로서 뿐만 아니라, 교정치료 시 치수 생활력의 상실에 대한 참고 자료가 될 수 있을 것이다. (대치교정지 2009;39(6):372-382)

주요 단어: Doppler ultrasound, 치수 혈류량, 치수 생활력

서론

치아이동의 고전적 학설인 압력-신장 학설에 의하면, 교정적 치아 이동 시 지속되는 압력에 의해 혈류변화가 발생하게 된다. 교정적 치아 이동 시 치아는 치주인대 공간 내에서 어떤 부분은 인대가 압축되고 어떤 부분에서는 인대가 신장되게 된다.¹ 이러한 압력의 차이로 인해 압박 부위에서 산소의 수준은 떨어지고 신장 부위의 산소 수준은 증가하게 되며 대사산물의 상대적 비율 또한 수분만에 변하게 된다. 이러한 압력의 변화 및 대사산물의 방출 등은

치수 및 치수의 혈류량 변화를 야기하게 된다.²

초기 연구들^{3,6}에서 이러한 치수의 혈류량 측정을 위하여 다양한 방법들이 소개되었다. Anstendig과 Kronman³은 조직학적인 방법을 이용하였고, Hamersky 등⁴은 치수 조직 호흡률(pulp tissue respiration rate)을 측정하는 방법 등을 사용하였다. 또한 Kvinnsland 등⁵은 fluorescent microsphere injection 방법을 사용하였으며, Sano 등⁶은 direct microscopic observation 방법을 사용하였다. 이러한 각각의 방법들을 이용한 연구결과, 초기 치수 혈류량의 변화에 대해서도 다양한 의견이 존재하였다. Kvinnsland 등⁵과 Guevara와 McClugage⁷는 교정력을 적용 후 치수 혈류량의 감소를 보고하였고, Nixon 등⁸과 Derringer 등⁹은 교정력 적용 직후 치수 내에서는 염증반응이 일어나기 때문에 미세혈관이 증가된다고 보고하였다. 하지만, 이전의 방법들은 침습적인 방법으로서 각각의 치아에 대해서 오직 한 번 밖에 측정할 수 없다는 한계점이 존재하며, 시기별 혈류량의 변화를 측정하는 것이 불가능하였다.

반면에 Doppler ultrasound를 이용할 경우 치아이

^a전공의, ^b조교수, ^c부교수, ^d교수, 연세대학교 치과대학 교정학교실.

^e선임연구원, 한국전기연구원.

교신저자: 황충주.

서울시 서대문구 성산로 250, 연세대학교 치과대학 교정학교실, 구강과학연구소 연구원, 두개안면기형연구소.

02-2228-8775; e-mail, hwang@yuhs.ac.

원고접수일: 2008년 7월 31일 / 원고최종수정일: 2009년 10월 16일 /

원고채택일: 2009년 10월 20일.

DOI: 10.4041/kjod.2009.39.6.372

*본 연구는 2008년 한국전기연구원의 연구비로 작성되었음.

동 시 치수와 주변조직에 일어나는 미세순환의 변화를 치수에 어떠한 유해 자극도 가하지 않고 반복적으로 측정할 수 있다. 또한 센서 위치를 시각과 청각을 이용하여 조절할 수 있으며, 동맥과 정맥을 구분할 수 있다는 장점이 있어 임상적 효용성이 매우 높다. 이처럼 도플러 원리를 이용한 혈류측정법은 앞서 언급한 장점들이 많기 때문에 최근에 많은 연구가 이루어지고 있다.^{10,11} 그 예로 Roebuck 등¹⁰의 치수 생활력을 평가하기 위한 도플러 기기의 연구, Ikawa 등¹²의 도플러 기기를 이용한 증령에 따른 치수 혈류량의 변화에 관한 연구, Harada 등¹³에 의한 상악견인술(distraction) 후 치수의 혈류량 변화에 관한 연구 등 교정학 영역에서 다양한 범위로 사용되고 있다.

본 연구에서는 Doppler ultrasound를 이용하여 6주 교정치료 동안 발생하는 치아별, 부위별에 따른 혈류량의 변화를 알아보고자 하였으며, 임상적 적용을 위한 재현성 확보와 추후 장치의 종류, 교정력의 크기, 치료 역학, 치아 이동유형에 따른 치아 주변조직의 변화에 대한 연구를 위한 방법론적 기초 자료로 사용하고자 하였다.

연구방법

연구대상

연세대학교 치과병원 교정과를 내원한 환자를 대상으로 고정식 교정 장치로 치료예정인 18명으로

다음의 조건을 만족하는 자를 연구대상으로 하였다.

연구 대상 조건

1. 실험 대상 치아와 인접치가 경도의 총생(2 mm 미만)을 보이는 경우
2. 비발치 교정치료
3. 전치부 공극이 존재하지 않는 경우
4. 만 15세 이상(최소: 15.2세 최대: 29.3세): 전치부 root apex closure가 완료되는 시기
5. 심혈관 질환이 없는 경우
6. 대상 치아에 수복물이나 외상 등의 병력 등이 없는 경우

연구재료

1. 브라켓: 0.018" metal bracket (Tomy, Tokyo, Japan)
2. 교정호선: 0.016" Ni-Ti (G&H, Hanover, Germany)

연구방법

실험기구

교정치료 환자들의 치수 미세순환을 연구하기 위하여 혈류 검사용 Doppler ultrasound MM-D-K

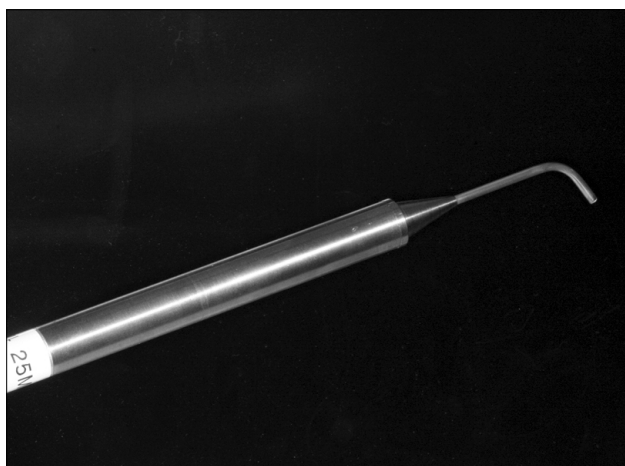


Fig 1. Doppler ultrasound equipment (Left) and 25 MHz probe (Right).

(Minimax, Moscow, Russia)기기를 이용하였다. 검사는 초음파 모듈의 스페어 디스크에 위치한 교환 장치를 통해 연결되는 probe를 이용하였다. 이 기기는 미세혈관 또는 인체 부위, 연구대상 혈관의 직경을 선택할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

이번 실험에서는 총 세 개의 probe 중(15, 20, 25 MHz) 25 MHz의 probe를 이용하였으며, 0 - 8 mm 깊이의 혈류 흐름을 측정할 수 있었다 (Fig 1).

조사자 내 오차 검증

피험자는 임상시험에 대한 설명을 듣고 동의서에 서명을 하였다. 5명의 환자를 대상으로 Doppler ultrasound를 동일인이 1달간의 간격을 갖고 상, 하악 6전치 중 총생이 있는 치아와 인접치 총 세 개의 치아를 반복 측정한 후, 각 계측 항목별로 상관관계를 *Pearson correlation analysis*를 통하여 확인하였으며 측정치 간에 *Paired t-test*를 통하여 재현성이 있는지 확인하였다.

실험 설계

동일인이 18명의 환자(54개 치아: 상악 중절치 9개, 상악 측절치 9개, 상악 견치 9개, 하악 중절치 9개, 하악 측절치 9개, 하악 견치 9개)를 대상으로 Doppler ultrasound를 이용하여 측정하였다. 대상치아는 상, 하악 6전치 중 총생이 있는 치아와 그 인접치 두 개의 치아, 총 세 개의 치아를 대상으로 하였으며, 교정치료 시작 전, 교정용 wire 삽입 후 3주,

6주, 총 3회에 걸쳐서 측정하였다. 6주 동안 0.016" Ni-Ti wire (G&H, Hanover, Germany)를 유지하였으며, wire 교체는 실시하지 않았다. 같은 환자에 있어서 동일한 부위에 probe를 위치시키기 위하여 0.5 mm 두께의 Copyplast (Scheu-Dental, Iserlohn, German)를 이용하여 제작한 tray를 template로 사용하였다. Template에 구멍을 치은과 치아 경계(cervical) 중간 부위에 뚫어 probe의 위치를 정하였으며, 치아가 이동함에 따라 각각의 tray를 치아별로 잘라서 template로 사용하였다 (Fig 2).

혈류량 측정 시 환자의 위치, 생리학적인 상태 등이 영향을 미칠 수 있으므로, 측정 시작 10분 전부터 충분한 휴식을 취한 상태로 양와위(supine position)에서 동일인이 측정하였다.

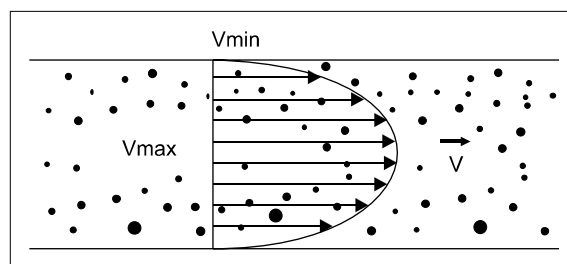


Fig 3. Blood flow velocity distribution. Vmax, Maximum velocity of blood flow; Vmin, minimum velocity of blood flow.

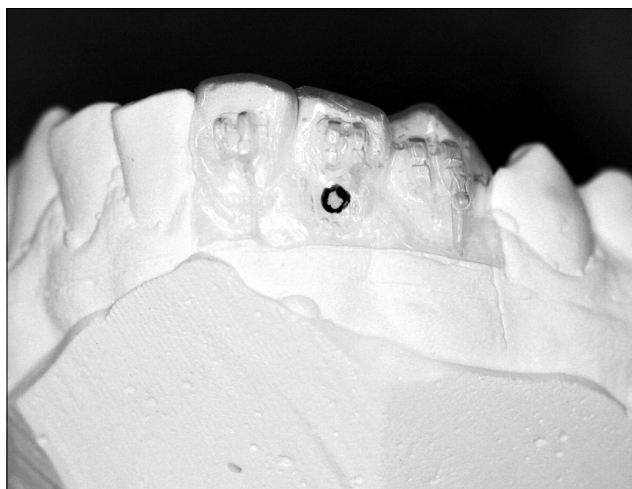


Fig 2. Plastic template for repositioning probe.

Table 1. Definition of Doppler ultrasound variables

| Variables | Definition |
|--------------|--|
| Vas (cm/s) | Maximum linear velocity during systolic period |
| Vam (cm/s) | Average linear velocity during systolic period |
| Vakd (cm/s) | Outlet linear velocity during diastolic period |
| Qam (ml/min) | Average volume velocity during systolic period |
| Qas (ml/min) | Maximum volume velocity during systolic period |
| PI | Pulsation index; resilience of blood vessel |
| RI | Circulation resistance |

계측 항목

실제 혈류는 각각의 구성요소들이 다른 속도와 방향으로 이동하게 된다. 즉, 혈관벽과 가까운 곳은 속도가 가장 느리며, 가운데 부위가 가장 빠르다 (Fig 3). 그러므로 혈류속도는 일정한 값으로 나올 수 없기 때문에 Doppler ultrasound 상의 혈류는 양적, 질적 특성을 고려하여 측정하게 된다. 혈류의 양적 측정은 도플러 그래피의 측정변수(진폭, 주파수 등)와 동맥의 탄성 특성을 반영하는 맥박지수(PI 헤슬링 지수), 말초저항을 반영하는 푸르셀로 지수(RI) 및 치수 혈류의 선속도 및 부피 속도 등을 통하여 이루어진다. Doppler ultrasound를 이용하여, 다음과 같은 지표들을 측정하였다 (Table 1).

Table 2. Comparison of pulpal blood flow change of 0, 3, 6 weeks

| Variables | 0 week | | 3 weeks | | 6 weeks | | Sig | N |
|--------------|--------|------|---------|------|---------|------|-----|----|
| | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | | |
| Vas (cm/s) | 0.64 | 0.20 | 0.61 | 0.14 | 0.66 | 0.16 | NS | 54 |
| Vam (cm/s) | 0.29 | 0.14 | 0.29 | 0.15 | 0.33 | 0.16 | NS | 54 |
| Vakd (cm/s) | 0.29 | 0.14 | 0.30 | 0.15 | 0.36 | 0.17 | NS | 54 |
| Qas (ml/min) | 0.30 | 0.09 | 0.29 | 0.06 | 0.31 | 0.07 | NS | 54 |
| Qam (ml/min) | 0.14 | 0.06 | 0.13 | 0.06 | 0.16 | 0.07 | NS | 54 |
| PI | 0.76 | 0.15 | 0.72 | 0.14 | 0.72 | 0.20 | NS | 54 |
| RI | 0.52 | 0.06 | 0.50 | 0.06 | 0.50 | 0.09 | NS | 54 |

SD, Standard deviation; Sig, significance; NS, not significant.

Table 3. Comparison of pulpal blood flow change of 0, 3, 6 weeks at maxilla (Mx) and mandible (Mn)

| Variables | | 0 week | | 3 weeks | | 6 weeks | | Sig | N |
|--------------|----|--------|------|---------|------|---------|------|-----|----|
| | | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | | |
| Vas (cm/s) | Mx | 0.68 | 0.20 | 0.66 | 0.13 | 0.68 | 0.18 | NS | 27 |
| | Mn | 0.59 | 0.20 | 0.57 | 0.13 | 0.65 | 0.16 | NS | 27 |
| Vam (cm/s) | Mx | 0.32 | 0.13 | 0.30 | 0.14 | 0.32 | 0.16 | NS | 27 |
| | Mn | 0.26 | 0.15 | 0.27 | 0.16 | 0.33 | 0.16 | NS | 27 |
| Vakd (cm/s) | Mx | 0.33 | 0.15 | 0.32 | 0.16 | 0.35 | 0.17 | NS | 27 |
| | Mn | 0.26 | 0.14 | 0.28 | 0.15 | 0.36 | 0.18 | NS | 27 |
| Qas (ml/min) | Mx | 0.32 | 0.09 | 0.31 | 0.06 | 0.32 | 0.08 | NS | 27 |
| | Mn | 0.28 | 0.09 | 0.27 | 0.06 | 0.31 | 0.07 | NS | 27 |
| Qam (ml/min) | Mx | 0.15 | 0.06 | 0.14 | 0.06 | 0.15 | 0.07 | NS | 27 |
| | Mn | 0.12 | 0.07 | 0.12 | 0.06 | 0.16 | 0.08 | NS | 27 |
| PI | Mx | 0.75 | 0.16 | 0.75 | 0.12 | 0.76 | 0.23 | NS | 27 |
| | Mn | 0.77 | 0.15 | 0.69 | 0.16 | 0.67 | 0.16 | NS | 27 |
| RI | Mx | 0.51 | 0.06 | 0.52 | 0.05 | 0.53 | 0.10 | NS | 27 |
| | Mn | 0.52 | 0.06 | 0.48 | 0.07 | 0.47 | 0.07 | NS | 27 |

Mx, Maxilla; Mn, mandible; SD, standard deviation; Sig, significance; NS, not significant.

통계분석

계측된 자료들을 SAS program을 이용하여, 통계 처리하였다.

1. 본 실험에 들어가기 전 동일한 환자 5명을 한 달 간격을 두고, 동일인이 두 번 반복 측정하여, 재현성을 확인하였다(Pearson correlation analysis, Paired t-test).

2. 치수혈류량의 변화를 전체적인 평균과 표준편

차, 상악과 하악, 치아별 차이에 대해 평균과 표준편차를 계산하였다(Repeated measures ANOVA).

3. 치아별 같은 기간 내에서 계측항목을 비교하여, 개별 치아의 치수생활력에 대한 내재적 위험성을 알아보고자 평균과 표준편차를 확인하였으며, one-way ANOVA를 이용하여 검정하였다.

연구성적

18명의 만 15세 이상의 환자를 대상으로 Doppler ultrasound를 이용하여, 교정치료 시작 전, 시작 후 3주, 6주 후에 부위(상악, 하악)에 관계없이 측정한 결과, 모든 계측항목에 있어서 통계학적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다 (Table 2). 또한 부위(상악, 하악)에 따른 치수 혈류량의 변화를 살펴본 결과 교정치료 시작 전과 시작 후, 3주 6주 모두에서 통계학적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다

Table 4. Comparison of RI according to position

| Position | Mean | SD | Sig | N |
|----------|------|------|-----|----|
| Maxilla | 0.52 | 0.07 | * | 27 |
| Mandible | 0.49 | 0.07 | | 27 |

Sig, Significance; SD, standard deviation; * $p < 0.01$.

Table 5. Comparison of pulpal blood flow change (Vakd) in maxillary (Mx) central incisor and lateral incisor between 0 week and 6 week

| Tooth | 0 week | | 3 weeks | | 6 weeks | | Sig | N |
|--------------------|--------|------|---------|------|---------|------|-----|---|
| | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | | |
| Mx central incisor | 0.43 | 0.15 | 0.25 | 0.03 | 0.30 | 0.18 | * | 9 |
| Mx lateral incisor | 0.20 | 0.12 | 0.34 | 0.24 | 0.41 | 0.15 | | 9 |

Sig, Significance; SD, standard deviation; NS, not significant; * $p < 0.01$.

Table 6. Comparison of pulpal blood amount on each teeth of Mx. & Mn. before treatment

| Variables | | Central incisor | | Lateral incisor | | Canine | | Sig | N |
|--------------|----|-----------------|------|-----------------|------|--------|------|-----|----|
| | | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | | |
| Vas (cm/s) | Mx | 0.80 | 0.22 | 0.59 | 0.20 | 0.66 | 0.13 | NS | 27 |
| | Mn | 0.62 | 0.28 | 0.64 | 0.14 | 0.52 | 0.16 | NS | 27 |
| Vam (cm/s) | Mx | 0.41 | 0.14 | 0.23 | 0.10 | 0.32 | 0.11 | NS | 27 |
| | Mn | 0.25 | 0.20 | 0.31 | 0.15 | 0.23 | 0.08 | NS | 27 |
| Vakd (cm/s) | Mx | 0.43 | 0.15 | 0.20 | 0.12 | 0.35 | 0.07 | NS | 27 |
| | Mn | 0.25 | 0.17 | 0.33 | 0.13 | 0.19 | 0.08 | NS | 27 |
| Qas (ml/min) | Mx | 0.37 | 0.10 | 0.28 | 0.09 | 0.31 | 0.06 | NS | 27 |
| | Mn | 0.29 | 0.13 | 0.30 | 0.06 | 0.24 | 0.07 | NS | 27 |
| Qam (ml/min) | Mx | 0.19 | 0.07 | 0.11 | 0.04 | 0.15 | 0.05 | NS | 27 |
| | Mn | 0.12 | 0.94 | 0.14 | 0.74 | 0.11 | 0.04 | NS | 27 |
| PI | Mx | 0.80 | 0.18 | 0.70 | 0.15 | 0.75 | 0.15 | NS | 27 |
| | Mn | 0.82 | 0.17 | 0.76 | 0.15 | 0.73 | 0.13 | NS | 27 |
| RI | Mx | 0.52 | 0.05 | 0.50 | 0.07 | 0.51 | 0.06 | NS | 27 |
| | Mn | 0.54 | 0.75 | 0.53 | 0.06 | 0.50 | 0.62 | NS | 27 |

Mx, Maxilla; Mn, mandible; Sig, significance; SD, standard deviation; NS, not significant.

(Table 3). RI 항목에서는 상악에서 하악에 비해 크게 나타났다 (Table 4). 치아별 기간에 따른 치수 혈류량의 변화를 비교한 결과, 다른 계측항목은 모두 유의한 차이가 나타나지 않았고, 상악 치아의 V_{akd}에서 유의한 차이가 나타났다. 상악 중절치와 측절치 사이에 시간의 흐름에 따른 V_{akd}의 변화 양상에 있어서 통계학적으로 유의한 차이가 있었으며 ($p < 0.05$), 사후 검정을 위해 0주를 기준(base)으로 0주와 3주, 0주와 6주를 비교한 결과, 0주와 6주에 있어서 변화양상에 있어서 유의할 만한 차이가 나타났다 (Table 5). 각각의 치아별로 내재적인 혈류량의 특성을 비교하고자, 교정치료 시작 전 계측항목을 비교하여, 치아별로 교정치료에 의한 치수생혈력 상실 등의 내재적 위험성을 알아보았다. 모든 치아 간 통계학적으로 유의성 있는 차이는 나타나지 않

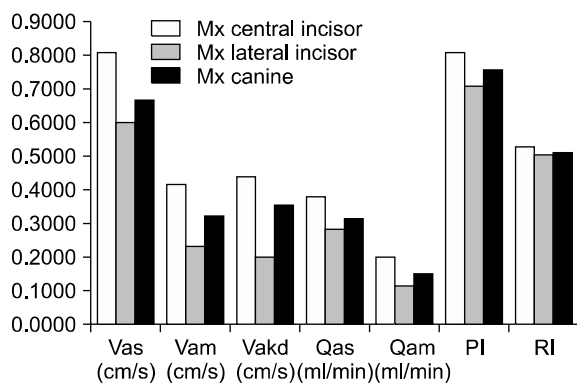


Fig 4. Comparison of each variable for the maxillary (Mx) teeth before orthodontic treatment. Variable and it's unit are shown together on horizontal line of graph.

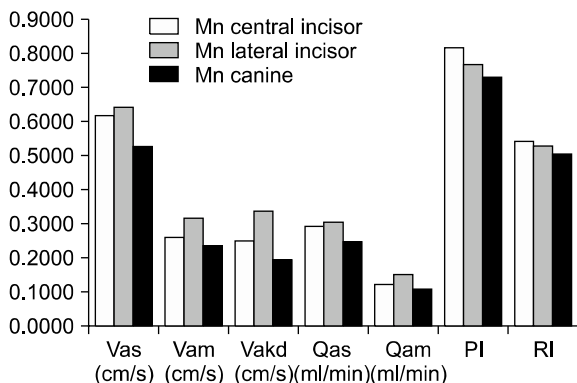


Fig 5. Comparison of each variable for the mandibular (Mn) teeth before orthodontic treatment. Variable and it's unit are shown together on horizontal line of graph.

았지만, 상악의 경우 측절치가 중절치나 견치에 비해 모든 계측항목에서 낮은 수치를 보였으며, 하악의 경우 견치가 중절치나 측절치에 비해 모든 계측항목에서 낮은 수치를 보였다 (Table 6, Figs 4 and 5).

고찰

교정력이 적용되었을 경우 치수에 공급되는 혈관의 압박에 의하여 치수조직의 변화를 야기한다. 이때 기계적인 혈류의 차단은 치수조직의 상태, 즉 단단한 조직에 둘러싸여 있고 혈류를 주로 치근단공에서 공급받는 상황과 연관되어 있다 그러므로 교정치료 시 환자의 연령, 치수에 혈류를 공급하는 부근관의 존재, 치아의 이동유형 등이 조직반응에 영향을 미칠 수 있으며, 이러한 혈류량의 변화를 알아 보기 위하여 다양한 방법들이 시도되어 왔다.²

Hamersky 등⁴은 발치 예정인 4개의 소구치에서 3일간 교정력을 적용 후 radioactive labeled carbon dioxide를 이용하여 pulpal respiration rate를 측정하였다(radio-respirometric method). 연구에 따르면 교정력을 적용 후 27% 정도의 pulpal respiration rate의 감소양상을 보인다고 보고하였고, 나이가 증가할수록 치수 혈류량의 감소 정도가 증가한다고 하였다. 즉, 그는 교정력은 단기간 동안 치수조직의 생화학적 변화를 일으킨다고 결론지었다. Unsterseher 등¹⁴도 역시 발치 예정인 4개의 소구치에서 72시간 동안 교정력을 가한 직후와 1주일간의 resting period 후에 radio-respirometric method를 이용하여 pulpal respiration rate를 측정하였다. 그 결과 교정력 적용 후 72시간 후에는 상악의 경우 36.05%, 하악의 경우 30.23% 감소하였고, 1주일간 resting period를 가진 후에는 원래의 혈류량 수준으로 회복되었다.

하지만 위와 달리 초기 치수 혈류량의 증가를 보고한 연구들도 있었다. Nixon 등⁸은 36마리의 male rat을 대상으로, 20, 40, 60 g의 다른 힘을 적용(대조군은 힘 적용하지 않음)하여, 1, 3, 5, 7, 10, 14일째 histomorphometric 방법으로 치수에 변화된 혈관의 수를 분석하였다. 그 결과 힘을 적용한 모든 군에서 hyperemic response를 보였으며, 세포활성도 증가하는 것을 알 수 있었다. Derringer 등⁹은 15개의 소구치에 교정력을 2주 동안 적용한 후, 치수를 제거하여 조직학적으로 관찰하였다. 그는 교정력에 대한 치수의 반응은 세포손상, 염증반응, 창상치유의 일련의 과정을 거쳐 angiogenesis가 일어난다고 보고

하였다. 실제로 조직학적으로 5일째 치수 내 미세혈관의 숫자가 증가함을 확인하였다.

지금까지의 연구방법들은 대부분 침습적인 방법, 즉 조직시편을 만들거나, 방사선사진을 이용한 방법, 동위원소를 이용한 radio-respirometric method 등이 이용되었다. 이러한 방법들의 가장 큰 단점은 각 치아당 한 번 밖에 측정을 할 수 없어서, 연속적인 자료 수집이 불가능하다는 것이었다. 또한 현재까지 human study에서 치수 혈류량의 변화에 관한 가장 오랜 시간 동안 관찰한 연구는 McDonald와 Pitt Ford¹⁵의 72시간 동안 관찰한 것이었다.

이러한 이전의 방법들의 한계점을 극복하기 위하여 이번 연구에서는 Doppler ultrasound를 이용하였다. Doppler ultrasound의 경우 치수에 어떠한 손상 없이(non-invasive) 반복적인 측정이 가능하며, 또한 센서 위치를 시각과 청각을 이용하여 조절할 수 있으며, 동맥과 정맥을 구분할 수 있다는 장점이 있어 임상적 효용성이 매우 높다. 또한, 비침습적으로 측정이 가능하기 때문에 이번 연구에서는 단기간이 아닌, 연속되는 6주간의 변화된 혈류량을 알아 볼 수 있었다.

Doppler ultrasound를 이용한 치수 혈류량 측정 시 나타날 수 있는 오차의 원인은 크게 전신적인 요인과 국소적인 요인으로 나눌 수 있다.

먼저 전신적 요인으로는 환자의 위치, 환자의 생리학적인 상태 등이 있다. 즉, 치수 혈류는 periphery의 local blood flow이므로 환자의 전신적인 상태에 따른 심박출량 등도 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 이번 연구에서는 표준화를 위하여 먼저 대상 환자에 있어서 심혈관질환이 있는 경우는 배제시켰다. 대상 환자는 측정 10분 전에 충분한 휴식을 가진 후 앙와위에서 동일인에 의해서 측정하였다.

국소적인 요인으로는 probe의 위치와 종류 등을 들 수 있다. Probe의 위치에 따라 측정 결과가 달라지므로 같은 환자에 있어서 동일한 부위에 센서를 위치시키는 것이 중요하였다. 이러한 목표를 달성하기 위하여, 간접부착 술식에 이용하였던 tray를 실험의 template로 사용하였다. 재현성을 확인하기 위하여, 본 실험에 들어가기 전 pilot test로 환자 5명을 대상으로 제3자의 동일인에 의하여 한 달 간격으로 두 번 측정하여 Pearson correlation analysis를 실시하였다. 두 결과 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았으므로, 재현성이 있는 것으로 확인되었다. Probe의 종류 역시 결과에 영향을 미칠 수 있다. 혈류 검사용 Doppler ultrasound MM-D-K (Minimax,

Moscow, Russia)기기에는 10, 20, 25 MHz 세 종류의 probe가 존재한다. Probe의 파장이 짧을수록 초음파가 더 깊이 투과하게 되어, 파장이 짧은 probe일수록 주혈관의 측정에 용이하며, 파장이 긴 probe는 초음파의 투과 깊이가 얕아지므로 소혈관의 측정에 이용된다. 이번 실험에서는 25 MHz probe를 사용하여, 다른 주변의 치주조직 혈관의 간섭을 최소화하였으며, 만약 더 긴 파장의 probe를 사용한다면 더욱 더 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것이다.

지금까지의 선행들의 연구에 따르면 교정적 치아 이동 시 치수의 혈류량에 대한 변화는 명확하지 않았다. McDonald와 Pitt Ford¹⁵는 초기에는 혈류량이 감소하였다가, 48시간 이후부터는 점점 회복하는 양상을 나타낸다고 보고하였으며, Seltzer와 Bender¹⁶는 교정력이 치수에 비가역적 위축을 일으키며, 수복 상아질로 치유가 일어나 치수폐쇄가 일어난다고 보고하였다. 이와 같이 치수혈류량이 감소한다는 주장의 핵심은 첫째, 치수의 혈류는 전적으로 치근단공을 통한 혈류에 의존하게 되는데, 교정적 이동 시 치근단 방향으로의 변위는 혈관을 압박하게 되고 그로 인해 혈류량 감소가 일어난다는 것이며, 둘째, 치근 표면에 있는 백악질은 평생을 통해 점진적으로 증가하며, 또한 치근 표면의 손상 후 치료과정에 중요한 역할을 하게 되므로 증령이나 손상에 대한 반응으로 백악질의 두께는 증가하게 되어 치근단공의 크기가 줄어 혈류는 감소하게 된다는 것이다.

반면에, Derringer 등⁹은 치수 내의 미세혈관이 질적으로나 양적으로 증가하는 양상을 나타낸다고 보고하였다. 교정력에 의한 기계적인 손상은 치주조직에 염증반응을 야기하게 되고, 이는 angiogenic factor (ex. PDGF, EGF, FGF 등)를 지속적으로 유리하게 하여, 치수 내 미세혈관을 증가시킨다.

초기 혈류량의 변화에 대한 선행들의 연구에 따르면 매우 많은 이견이 존재하는 것이 사실이다. Nixon 등⁸에 따르면 다양한 결과가 나타나는 주된 이유는 치아 이동 유형의 차이에 기인한다고 언급하였고, 부가적으로 조직 시편 제작 시 고정과정에서 발생할 수 있는 표본손상이나 시편의 절단각도 등도 영향을 미친다고 하였다.

이상에서 살펴본 것처럼, 초기 혈류량은 치아의 이동 양상, 치근단공의 발육상태, 환자의 연령, 방법론적인 오류 등의 요인에 의해서 증감될 수 있다는 것을 알았다. 하지만 과연 어떻게 치수 혈류량이 변화되는지에 대한 연구결과는 human study에서 72시

간의 연구가 가장 오랜 기간이었고, 그에 따른 한계점과 이견이 존재하였다.

본 연구 결과 치수 혈류의 변화는 나타나지 않았으며, 치료 시작 전과 비슷하다는 것을 알 수 있었다. 치료 초기 또는 wire를 교환한 직후에는 선학들의 연구처럼 염증성 또는 퇴행성 변화가 일어날 수 있지만, 이번 연구에서 3주 관찰 기간 때에도 시작 전과 비슷한 수준이었다. 이러한 결과는 McDonald와 Pitt Ford¹⁵의 연구에서도 확인되었으며, 그에 따르면 교정치료 72시간 후부터 치수 혈류량은 회복되는 양상을 나타낸다고 보고한 바 있다. 또한 Nixon 등⁸도 현재까지의 연구에서 혈관반응(vascular response)에 의해서 치수 내에 혈류량이 어느 정도 원래의 수준으로 회복된다고 언급하였다. 그러나, Vakd의 변화양상, 즉 이완기 동안의 선속도 변화양상에 있어서 상악 중절치는 속도가 감소한 반면, 상악 측절치는 증가하는 양상을 보였다. 하지만, 치수 생활력 및 치수 혈류량에 가장 관계 깊은 요소는 Vas (수축기동안의 최대 선속도)로써 이는 교정 치료 시작 전 및 시작 후에 통계학적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. RI (혈관 말초저항 지수)에 있어서 상악이 하악보다 크게 나타났는데, 이것은 상악의 혈관이 하악에 비해 경직되어 있으며, 좀 더 생활력 상실의 위험이 크다고 할 수 있다. 이번 연구는 기존 연구들과 달리 교정적인 치아이동으로 인한 치수 혈류량의 변화를 장기적으로(6주간) 알아보고, 그 결과 치아별, 부위에 따른 치수 혈류량이 교정 전 원래의 수준과 비슷하다는 것을 확인한 의미 있는 결과를 얻을 수 있었다.

본 실험 설계 내에서는 교정치료 자체가 장기적인 관점에서 치수의 혈류량 변화에 영향이 없음을 알았으나, 실제로 임상에서는 원인 불명(idiopathic)으로 치수생활력이 상실되는 경우가 존재한다. Hamersky 등⁴에 의하면, 정상적인 치아(수복물도 존재하지 않고, 충치나 병소도 없고, 외상이나 이전에 교정치료를 받은 적이 없는 경우)에 교정력을 적용할 경우, pulpal respiration rate에 있어서 임상적으로 유의할 만한 차이가 나타나지 않았다. 그러나, 충치나 수복물이 존재하거나, 외상이나 이전에 교정치료를 받은 치아 또는 선천적으로 치수강이 좁은 환자에 있어서는 치수 혈류량의 변화가 유의할 만하게 나타났다. 이러한 유발인자(predisposing factor)가 있는 상태에서 교정력을 가할 경우 비가역성 치수염 또는 치근의 내흡수, 외흡수를 야기할 수 있게 된다. 이러한 결과는 Rostein과 Engel¹⁷에 의해서도

확인되었다. 즉, 교정적으로 치아를 움직이기 전에 가장 중요한 것은 임상적으로는 외상의 경력 등이 있는지를 확인하는 것이고, 방사선학적으로는 치수강이 좁아져 있는지를 확인하는 것이 치아의 예후를 결정하는 데 있어서 중요하다. 즉, 교정치료 자체가 치수 생활력 상실의 직접적인 원인을 제공하는 것이 아니라, 앞서서 언급한 유발인자(predisposing factor)가 존재하는 경우 교정치료를 받게 되면 치수생활력 상실의 가능성을 제공하게 될 것이다.

또한 치수생활력 상실에 대한 내재적 위험성을 비교하고자, 치료 시작 전 치아별로 통계학적으로 유의한 차이가 나타나지는 않았지만, 상악에서는 측절치, 하악에서는 견치가 다른 치아들에 비해서 모든 계측항목에서 작은 양상이 나타났다 (Table 6, Figs 4 and 5). 이 결과 해당 치아들이 감수성이 높다고 단정지을 수는 없지만 임상적으로 참고할 수 있는 결과를 얻을 수 있었다.

물론 이번 연구의 결과로 인해서 모든 교정적인 치아이동이 치수 혈류량의 변화에 영향을 미치지 않는다는 결론을 내릴 수는 없다. 이번 연구에서는 미약한 총생과(2 mm 이하) 정상적인 치아 등을 대상으로 한 제한적인 연구였기 때문이다. 교정치료 전 치아별 치수혈류량의 비교 결과, 하악견치에서 혈류량이 가장 적게 나타났는데, 치근단공의 크기 또는 치수강의 넓이 등을 비교할 때 실제 밝혀진 것과는 다른 결과가 나타났다. 이것은 현재기기로는 측정하기에 혈류 흐름이 미약하여(ex. Radial artery (Vas): 18.6 cm/s, 상악 중절치: 0.64 cm/s) 임상적 적용에 어려움이 있었던 거 같다. 또한 치수의 혈류만이 선택적으로 측정되어야 하지만, 치주인대 주위 혈류의 간섭효과를 완전히 배제할 수 없는 한계가 있었다. 이번 실험에서는 이러한 치수내의 혈류흐름을 비교적 정확하게 측정할 수 있도록 긴 파장의 (29 MHz) probe를 제작하여 사용하였으나, 측정자비의 정확성을 향상시키기 위해 연구도 함께 진행되어야 할 것이다. 통계학적으로도 실험에 참가한 피실험자수가 충분하지 않아, 유의성 검정에 있어서 부족한 점이 있었다. 향후에는 치아의 이동양상, 힘의 크기의 변화, 또는 치근단공의 발육상태 등을 변화시켜 다양한 연구를 실시하여 교정력이 치수 생활력에 미치는 영향에 대해 좀 더 심도 있는 연구가 필요할 것이다.

결론

경도의 총생(2 mm 이하)을 주소로 연세대학교 치과병원 교정과를 내원한 환자 18명을 대상으로 Doppler ultrasound를 이용하여 상, 하악 전치 중 총생이 있는 치아와 그 인접치를 대상으로 교정치료 시작 전, 시작 후 3주, 6주에 치수 혈류량을 측정하였다. 각각의 계측항목 Vas, Vam, Vakd, Qam, Qas, PI, RI를 부위에 관계없이, 부위에 따른 치수 혈류량의 변화 및 치아별에 따른 치수 혈류량의 변화를 비교하였으며, 치수생활력 상실에 대한 내재적 위험성을 알아보기 위하여 교정치료 시작 전 치아별 특성을 살펴본 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 부위에 관계없이, 부위별(상악, 하악)에 따른 교정력 적용 전과 적용 후 3, 6주 치수혈류량을 비교하였을 때 모든 계측 값에서 기간에 따른 치수 혈류량의 유의한 변화가 나타나지 않았다.
2. 치아별 기간에 따른 치수 혈류량의 변화를 비교한 결과, 0주와 6주 사이에 상악 중절치와 측절치 사이에 Vakd항목의 변화양상에 있어서 통계학적으로 유의한 차이가 나타났다.
3. 측정항목 중 RI는 상악에서 더 크게 측정되었다 ($p < 0.05$).
4. 치아별 교정치료 시작 전 각 계측항목을 비교한 결과, 통계학적으로 부위별 유의한 차이가 나타나지는 않았지만, 상악에서는 측절치, 하악에서는 전치가 다른 치아에 비해서 모든 계측항목에서 작은 값을 보였다.

본 연구의 결과 경도의 총생을 가진 환자에 있어서 Ni-Ti wire를 이용하여 초기 배열 시 3주, 6주 후에는 치료 시작 전 치수 혈류량의 수준과 비슷함을 알 수 있었다. Vakd의 변화양상, 즉 이완기 동안의 선속도 변화양상에 있어서 상악 중절치는 속도가 감소한 반면, 상악 측절치는 증가하는 양상을 보였다. 하지만, 치수 생활력 및 치수 혈류량에 가장 관계 깊은 요소는 Vas (수축기동안의 최대 선속도)로써 이는 교정 치료 시작 전 및 시작 후에 통계학적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. RI (혈관 말초저항 지수)에 있어서 상악이 하악보다 크게 나타났는데, 이것은 상악의 혈관이 하악에 비해 경직되어 있으며, 좀 더 생활력 상실의 위험이 크다고 할 수 있지만, 이와 관련된 연구가 더 필요하다. 이번 연구를 바탕으로 이후에 진행될 Doppler ultrasound

의 치아 이동 유형, 환자의 연령을 고려한 세부적인 실험 시 방법론적인 기초 자료로써 뿐만 아니라, 교정치료 시 치수 생활력의 상실에 대한 참고 자료가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Min JH, Cho JH, Lee KH, Hwang HS. The effects of ipriflavone on the periodontal reorganization following experimental tooth movement in the rat. Korean J Orthod 2008;38:347-57.
2. Proffit WR. Contemporary orthodontic 4th ed. St Louis: Mosby;2008. p. 335-51.
3. Anstendig HS, Kronman JH. A histologic study of pulpal reaction to orthodontic tooth movement in dogs. Angle Orthod 1972;42:50-5.
4. Hamersky PA, Weimer AD, Tanitor JF. The effect of orthodontic force application on the pulpal tissue respiration rate in the human premolar. Am J Orthod 1980;77:368-78.
5. Kvinnsland S, Heyeraas K, Ofjord ES. Effect of experimental tooth movement on periodontal and pulpal blood flow. Eur J Orthod 1989;11:200-5.
6. Sano Y, Ikawa M, Sugawara J, Horiuchi H, Mitani H. The effect of continuous intrusive force on human pulpal blood flow. Eur J Orthod 2002;24:159-66.
7. Guevara MJ, McClugage SG. Effect of intrusive forces upon the microvasculature of the dental pulp. Angle Ortho 1980;50:129-34.
8. Nixon CE, Saviano JA, King GJ, Keeling SD. Histomorphometric study of dental pulp during orthodontic tooth movement. J Endod 1993;19:13-6.
9. Derringer KA, Jagers DC, Linden RW. Angiogenesis in Human dental pulp following orthodontic tooth movement. J Dent Res 1996;75:1761-6.
10. Roebuck EM, Evans DJ, Stirrups D, Strang R. The effect of wavelength, bandwidth, and probe design and position on assessing the vitality of anterior teeth with laser Doppler flowmetry. Int J Paediatr Dent 2000;10:213-20.
11. Ng SY, Payne PA, Cartledge NA, Ferguson MW. Determination of ultrasonic velocity in human enamel and dentine. Archs oral biol 1989;5:341-5.
12. Ikawa M, Komatsu H, Ikawa K, Mayanagi H, Shimauchi H. Age-related changes in the human pulpal blood flow measured by laser Doppler flowmetry. Dental Traumatol 2003;19:36-40.
13. Harada K, Sato M, Omura K. Blood-flow change and recovery of sensibility in the maxillary dental pulp during and after maxillary distraction: a pilot study. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2004;98:528-32.
14. Unsterseher RE, Nieberg LG, Weimer AD, Dyer JK. The response of human pulpal tissue after orthodontic force application. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1987;92:220-4.
15. McDonald F, Pitt Ford TR. Blood flow changes in permanent maxillary canines during retraction. Eur J Orthod 1994; 16:1-9.

16. Seltzer S, Bender IB. The dental pulp: biologic considerations in dental procedures. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott; 1984. p. 324-48.
17. Rotstein I, Engel G. Conservative management of a combined endodontic-orthodontic lesion. Endod Dent Traumatol 1991;7: 266-9.

Changes in pulpal blood flow during orthodontic tooth movement studied by Doppler ultrasound

Kyoung-Sub Lim, DDS,^a Young-Min Bae, PhD,^b Jung-Yul Cha, DDS, MPH, PhD,^c
Hyung-Seog Yu, DDS, MPH, PhD,^d Chung-Ju Hwang, DDS, MPH, PhD^d

Objective: This study was to change of pulp blood flow among maxillary and mandibular anterior tooth with mild crowding and adjacent teeth using Ultrasound Doppler graphy. **Methods:** The change of pulp blood flow was measured three times using Ultrasound Doppler graphy; before the attachment of brackets, after 3 week, and after 6 week. The sample consists of 15 year old eighteen patients. **Results:** Before the attachment of brackets, after 3 weeks, and after 6 weeks, there were no significant differences in the change of pulp blood flow in each part (maxilla and mandible) and each tooth according to period. In addition, to compare internal dangerousness of loss of the pulp vitality, when pulp blood flow is compared in each tooth before orthodontic treatment, there were no statistically significant differences in maxillary lateral incisor and mandibular canine but it showed low values in all measurement items ($p > 0.05$). **Conclusions:** Results of this study can be not only methodological preliminary data in further study such as tooth movement type of Ultrasound Doppler graphy and particular study considered the patient age, but also reference materials for the loss of pulp vitality in orthodontic treatment. (Korean J Orthod 2009;39(6):372-382)

Key words: Doppler ultrasound, Pulpal blood flow, Tooth vitality

^aResident, ^cAssistant Professor, ^dAssociate Professor, ^eProfessor, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Yonsei University.

^bSenior Researcher, Korea Electrotechnology Research Institute.

Corresponding author: **Chung-Ju Hwang.**

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Oral Science Research Center, The Institute of Cranio-Facial Deformity, Yonsei University, 250, Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea.

+82 2 2228 8775; e-mail, hwang@yuhs.ac.

Received July 31, 2008; Last Revision October 16, 2009; Accepted October 20, 2009.