

# MicroCT를 이용한 상악 전치의 법랑질 두께에 관한 연구

조영원 · 조진현 · 이규복\*

경북대학교 치의학대학원 치과보철학교실

**연구 목적:** 이번 연구의 목적은 법랑질 두께를 측정하는데 있어 microCT의 정확성을 평가하고, 한국인의 상악전치 법랑질 두께를 알아봄으로써 임상에 도움을 주고자 한다. **연구 재료 및 방법:** 발거된 상악 중절치 5개를 레진 포매하여 치아 장축을 따라 정중부에서 협설로 절단하고 연마한 후에 microCT를 촬영하여 scanning electron microscope 상( $\times 20$ )에서와 microCT 상에서 거의 동일한 절단면을 구현하였고, 각각 백악법랑경계 상방 1, 3, 5 mm 부위의 협측 법랑질 두께를 측정하여 microCT의 정확성을 평가하였다. 또한 상악 중절치 26개와 측절치 11개를 이용하여 각 치아의 순측 정중부와 정중부에서 근원심으로 각각 2 mm 떨어진 선상에서 백악법랑경계의 상방 1, 3, 5 mm 지점의 법랑질 두께를 측정하였다. 정중부의 세 지점에서는 정중부를 지나는 시상면에서 법랑질 표면에 접선을 그어 이 접선에 수직으로 법랑상아경계까지 수선을 내려 법랑질 두께를 측정하였고, 근원심 2 mm를 지나는 선상에 있는 6개 지점에서는 각 지점을 지나는 수평면에서 법랑질 표면에 접선을 그어 이 접선에 수직으로 법랑상아경계까지 수선을 내려 법랑질 두께를 측정하였다.

**결과:** 동일한 절단면에서 주사전자현미경과 microCT를 이용하여 백악법랑경계 상방 1, 3, 5 mm 지점의 순면 법랑질 두께를 측정한 값은 평균 3.81% 차이가 났으나, independent t-test 결과 두 가지 방법에 의한 측정값은 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 상악 중절치의 정중부에서 백악법랑경계 1, 3, 5 mm 상방의 순면 법랑질 두께는 각각  $0.32 \pm 0.01$ ,  $0.50 \pm 0.02$ ,  $0.70 \pm 0.02$  mm로 나타났다. 상악 측절치의 정중부에서 백악법랑경계 1, 3, 5 mm 상방의 순면 법랑질 두께는 각각  $0.30 \pm 0.01$ ,  $0.55 \pm 0.03$ ,  $0.80 \pm 0.02$  mm로 나타났다.

**결론:** 법랑질 두께를 측정하는데 있어 microCT는 유용한 측정방법의 하나이며, 이번 연구의 결과로 볼 때 한국인의 상악전치부 도재 라미네이트 수복시 법랑질의 삭제량에 주의를 기울일 필요가 있는 것으로 사료된다. (대한치과보철학회지 2010;48:301-7)

**주요단어:** 법랑질 두께, MicroCT, 주사전자현미경, 백악법랑경계, 도재 라미네이트

## 서론

최근 심미수복에 대한 관심의 증대로 치간 이개의 수정, 변색이나 착색된 치아의 피개, 법랑질 결함부위의 피개, 배열이상이나 형태이상 치아의 수정, 파절된 치아나 인접면 치아우식 등에 대한 치료로써 도재 라미네이트를 이용한 수복이 많이 이뤄지고 있다.<sup>1-6</sup> 이 수복방법의 장점으로는 최소한의 치질 삭제, 탁월한 심미성, 뛰어난 내구성, 우수한 도재 고유의 강도, 뛰어난 변연 적합도, 연조직에 대한 생체 적합성 등이 있다.<sup>4,7-11</sup>

이러한 수복을 임상에서 시행하는 데에는 수복물과 치질과의 접착이 예후에 큰 영향을 미친다. 따라서 수복물과 치질의 우수한 결합을 위해 법랑질을 보존하는 것이 중요하며,<sup>8,12,13</sup> 이것은 접착 후에 지각과민증상을 감소시키고,<sup>8,13,14</sup> 세라믹 수복물의 지지를 증가시키며, 근관치료의 가능성을 줄여 준다. 도재 라미네이트의 변연부 위치에 따른 변연누출에 관한 연구<sup>15-19</sup>에서 변연부가 법랑질에 위치한 경우에 비해 백악법랑경계부 상에 있는 경우 변연누출이 심하다고 보고하였다.<sup>5</sup> 따라서 수복물의 변연이 법랑질에 있는 것은 중요하며, 가능하다면 전체 면을 법랑질 상에 형성하여 강하고 신뢰할만한 접착이 이루어

지도록 하여야 한다.<sup>13</sup> 그래서, 최소한의 치질을 삭제하면서 우수한 심미적 결과를 얻을 수 있는 비침습적 술식인 도재 라미네이트를 임상에 적절히 사용하기 위해서는 치질의 삭제전에 법랑질의 두께에 대한 평가가 필요할 것이다.

법랑질의 두께에 관한 연구방법으로는 치아를 직접 절단하여 두께를 측정하는 직접적인 방법<sup>6,20</sup>과 방사선 사진,<sup>21-25</sup> 초음파 (ultrasonic pulse-echo),<sup>26,27</sup> computed tomography<sup>28</sup>를 이용하는 비파괴적인 연구방법이 있다. 치아를 직접 절단하여 법랑질의 두께를 측정하는 방법은 간접적인 방법보다 더 정확하지만<sup>29</sup> 절단된 평면에 따라 측정값이 달라지기 때문에 기술적으로 문제가 있다. 방사선 사진을 이용한 방법은 정확성이 떨어지고,<sup>21</sup> 초음파를 이용하는 경우에는 법랑질의 두께가 0.5 mm 이하가 되는 경우 측정을 할 수 없으므로<sup>27</sup> 치경부 법랑질의 두께 측정에는 제한이 따른다. 이에 비해 X-ray micro computed tomography (microCT)를 이용하는 경우 치아를 직접 절단하지 않고 원하는 부위의 법랑질 두께를 비교적 정확하게 측정할 수 있다. Olejniczak과 Grine<sup>30</sup>의 보고에 의하면 치아를 직접 절단한 단면과 microCT 상의 동일한 단면에서의 법랑질 두께 측정값의 퍼센트 차이는 3 - 5%에 불과한 것으로 나타났다.

\*교신저자: 이규복

700-412 대구광역시 중구 삼덕동2가 188-1 경북대학교 치의학전문대학원 치과보철학교실 053-600-7651; email, kblee@knu.ac.kr

원고접수일: 2010년 10월 6일 / 원고최종수정일: 2010년 10월 14일 / 원고채택일: 2010년 10월 16일

따라서 본 연구에서는 한국인의 상악 중절치와 측절치의 법랑질 두께를 microCT 상에서 측정 한 값과 치아를 직접 절단하여 주사전자현미경 (scanning electron microscopy: SEM) 상에서 측정한 값을 비교함으로써 microCT의 정확성을 평가하고, 한국인의 상악 전치 법랑질 두께를 알아보고자 한다. 또한 이 측정값을 기존의 외국 문헌과 비교해 봄으로써 한국인 치아의 특성을 이해하고 임상에 도움을 주고자 한다.

## 연구 재료 및 방법

### 1. MicroCT를 이용한 법랑질 두께 측정의 정확도 평가

#### 1) 치아의 포매 및 절단

5개의 발거된 상악 중절치를 70% 알코올에 24시간 동안 고정 한 후 알코올의 농도를 매 2시간 단위로 80%, 90%, 100%로 점차 높여가며 탈수 과정을 거쳤다. Propylene oxide로 용액을 갈아주어 6시간 동안 치환과정을 거친 후 레진 용액으로 교체하여 6시간 동안 조직에 resin이 잘 침투되도록 하였다. 치아의 방향을 맞추어 포매한 후, 37℃ incubator에서 overnight 시킨 다음 60℃ incubator에서 4일간 굳혔다.

포매된 치아는 경조직 절편기 (Accutom-50; Struers, Copenhagen, Denmark)를 이용하여 순면 정중부에서 치아 장축을 따라 순면에서 구개면으로 절단하였다. 치아의 절단면은 연마기 (ET/RotoPol-35; Struers, Copenhagen, Denmark)를 이용하여 연마하였다.

#### 2) 주사전자 현미경과 micro-CT에 의한 측정치의 비교

레진 포매 후 절단하고 연마한 시편을 먼저 microCT (X-EYE SYSTEM; DRGEM, Seoul, Korea) (Fig. 1)로 촬영하고, 다시 주사전자현미경 (S-4300; Hitachi, Tokyo, Japan) (Fig. 2)으로 촬영하여 서로 비교하였다 (Fig. 3). 각 시편은 ion sputter (E-1030; Hitachi, Tokyo, Japan)를 사용하여 백금 코팅 후, 전계 방사형 주사전자현미경 (Field Emission Scanning Electron Microscope; FE-SEM)으로 20



Fig. 2. The FE-SEM used in this study.

배의 배율로 촬영하였고, picture analysis program (iMT image analysis software; iMTechnology, Daejeon, Korea)을 이용하여 백악법랑경계의 상방 1, 3, 5 mm 지점의 순면에서 법랑질 두께를 측정하였다. 1명의 검사자가 각각 2번씩 측정하여 평균값을 측정값으로 하였다.

### 2. 법랑질 두께의 측정

#### 1) 실험재료

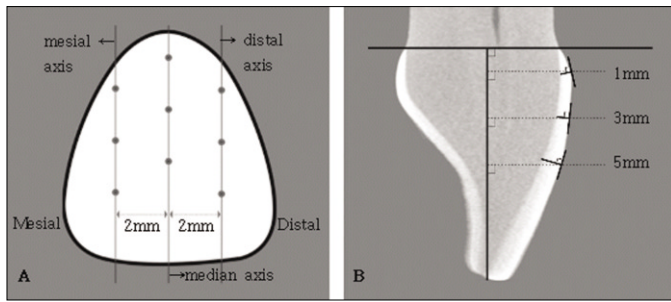
치주질환이나 치근파절로 인하여 발거된 상악 중절치 26개와 측절치 11개를 이용하여 연구하였다. 치아우식과 비기능적 마모, 침식, 형태이상, 파절 등이 없고 수복되지 않은 치아만 연구대상으로 하였고, 발거된 치아는 포르말린에 고정 한 다음 생리식염수에 보관하였다.



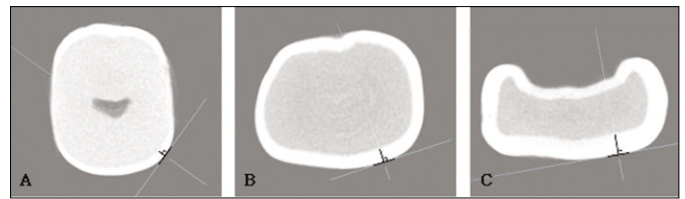
Fig. 1. The microCT used in this study.



Fig. 3. MicroCT image (left) and scanning electron micrograph (right) of the same cross-section Scale bar = 1 mm.



**Fig. 4.** Tooth landmarks used for measurements A, Labial surface of maxillary incisor. Points are 1, 3 and 5 mm above the CEJ. B, Sagittal plane in the median axis.



**Fig. 5.** Method of measurements in 2 mm remote axis mesially and distally from the medial axis A, Horizontal plane 1 mm above the CEJ. B, Horizontal plane 3 mm above the CEJ. C, Horizontal plane 5 mm above the CEJ.

**Table 1.** Values of measurements and percent differences between microCT and SEM (unit: mm)

|                          | 1 mm above the CEJ |      |         | 3 mm above the CEJ |      |         | 5 mm above the CEJ |      |         |
|--------------------------|--------------------|------|---------|--------------------|------|---------|--------------------|------|---------|
|                          | MicroCT            | SEM  | % Diff. | MicroCT            | SEM  | % Diff. | MicroCT            | SEM  | % Diff. |
| 1                        | 0.40               | 0.43 | 7.23%   | 0.53               | 0.57 | 7.27%   | 0.71               | 0.74 | 4.14%   |
| 2                        | 0.32               | 0.32 | 0.00%   | 0.42               | 0.42 | 0.00%   | 0.63               | 0.66 | 4.65%   |
| 3                        | 0.30               | 0.28 | 6.90%   | 0.37               | 0.36 | 2.74%   | 0.69               | 0.66 | 4.44%   |
| 4                        | 0.43               | 0.46 | 6.74%   | 0.56               | 0.59 | 5.26%   | 0.84               | 0.88 | 4.65%   |
| 5                        | 0.52               | 0.53 | 1.90%   | 0.79               | 0.80 | 1.26%   | 0.96               | 0.96 | 0.00%   |
| Average (absolute value) |                    |      | 4.55%   |                    |      | 3.31%   |                    |      | 3.58%   |

## 2) MicroCT 촬영 및 3D 이미지로 전환하기

관전압과 관전류는 각각 80 kV, 120  $\mu$ A로 정하였고, 360 Full scan 모드로 촬영하여 512  $\times$  512 pixel 크기의 단면 이미지를 얻었다. HARMONY160 (DRGEM, Seoul, Korea) 프로그램을 이용하여 촬영한 영상들을 재구성한 후 3D 소프트웨어인 iCAT3D (Mevisys, Daejeon, Korea)를 이용하여 3차원 영상으로 분석하였다.

## 3) 3D 이미지 상에서 법랑질 두께의 측정

iCAT3D 프로그램에서 각 치아의 순측 정중부와 정중부에서 근원심으로 각각 2 mm 떨어진 선상에서 치아장축을 따라 백악 법랑경계의 상방 1, 3, 5 mm 지점의 법랑질 두께를 측정하였다 (Fig. 4). 정중부의 세 지점에서는 정중부를 지나는 시상면에서 법랑질 표면에 접선을 그어 이 접선에 수직으로 법랑상아경계까지 수선을 내려 법랑질 두께를 측정하였고, 근원심 2 mm를 지나는 선상에 있는 6개 지점에서는 각 지점을 지나는 수평면에서 법랑질 표면에 접선을 그어 이 접선에 수직으로 법랑상아경계까지 수선을 내려 법랑질 두께를 측정하였다 (Fig. 5). 법랑질 두께 측정 방법은 프로파일 보기를 이용하여 법랑질과 상아질의 밀도차를 이용하여 측정하였다. 1명의 검사자가 각 두 번씩 측정하여 평균값을 얻었다.

## 3. 통계처리

MicroCT와 주사전자현미경을 이용한 모든 측정값의 통계분석은 SPSS 14.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 시행하였다. 각 부위에서 측정된 법랑질 두께의 평균과 표준오차를 구

**Table 2.** Differences of enamel thickness between microCT and SEM (unit: mm)

| Group   | 1 mm above the CEJ | 3 mm above the CEJ | 5 mm above the CEJ |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|
| MicroCT | 0.39 $\pm$ 0.04    | 0.53 $\pm$ 0.07    | 0.77 $\pm$ 0.06    |
| SEM     | 0.40 $\pm$ 0.05    | 0.55 $\pm$ 0.08    | 0.78 $\pm$ 0.06    |
| P-value | 0.873              | 0.835              | 0.891              |

Values are Mean  $\pm$  SE

P-values are computed by independent t-test

하였다. MicroCT와 주사전자현미경에서의 법랑질 두께 측정값을 비교해 보기 위해 independent t-test를 사용하였다.

백악법랑경계 상방 1, 3, 5 mm에서 법랑질 두께 측정치의 정규성을 검정해본 결과 정규성을 만족하지 않았기 때문에 비모수 방법을 사용하였다. 정중부와 근원심으로 각 2 mm 떨어진 부위에서의 법랑질 두께의 유의성을 검증하기 위하여 Kruskal-Wallis test를 사용하였고, 유의한 차이가 있는 경우에는 사후검정으로 Tukey's multiple comparison test를 시행하였다. 유의 수준은  $\alpha = .05$ 로 정하였다.

## 결과

주사전자현미경과 microCT를 이용하여 동일한 부위에서 5개의 상악 중절치의 법랑질 두께를 측정하고, 두 방법에 따른 측정값의 퍼센트 차이를 계산하였다 (Table 1).

또한 independent t-test 결과 두 가지 방법에 의한 측정값은 통계적으로 유의한 차이가 없었다 (Table 2, Fig. 6).

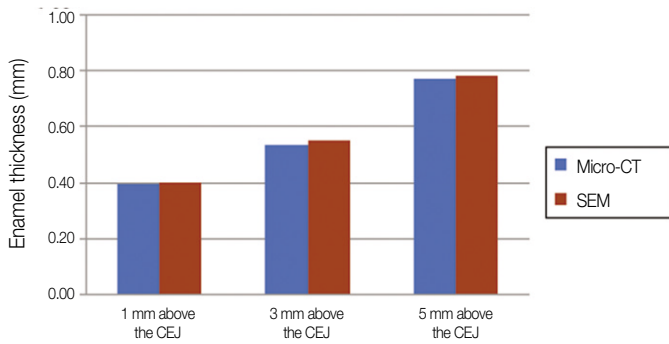


Fig. 6. Comparison of enamel thickness measured with microCT and SEM.

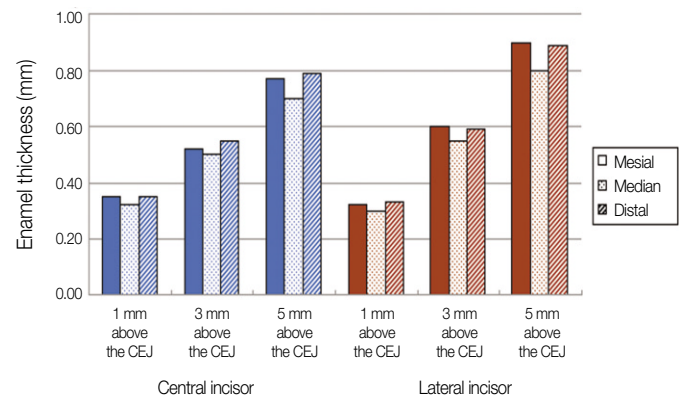


Fig. 7. Comparison of enamel thickness on the each measurement site.

Table 3. Enamel thickness on the each measurement site (unit: mm)

|         | Central incisor (n = 26) |                    |                           | Lateral incisor (n = 11) |                    |                          |
|---------|--------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|
|         | 1 mm above the CEJ       | 3 mm above the CEJ | 5 mm above the CEJ        | 1 mm above the CEJ       | 3 mm above the CEJ | 5 mm above the CEJ       |
| Mesial  | 0.35 ± 0.02              | 0.52 ± 0.02        | 0.77 ± 0.03 <sup>ab</sup> | 0.32 ± 0.02              | 0.60 ± 0.03        | 0.90 ± 0.09 <sup>a</sup> |
| Median  | 0.32 ± 0.01              | 0.50 ± 0.02        | 0.70 ± 0.02 <sup>a</sup>  | 0.30 ± 0.01              | 0.55 ± 0.03        | 0.80 ± 0.02 <sup>b</sup> |
| Distal  | 0.35 ± 0.01              | 0.55 ± 0.02        | 0.79 ± 0.03 <sup>b</sup>  | 0.33 ± 0.02              | 0.59 ± 0.03        | 0.89 ± 0.03 <sup>a</sup> |
| P-value | 0.267                    | 0.256              | 0.047                     | 0.365                    | 0.365              | 0.018                    |

Values are Mean ± SE

P-values are computed by Kruskal-Wallis test among mesial, median and distal

a,b: The same characters are not significant among mesial, median and distal by Tukey's multiple comparison at  $\alpha = .05$ .

상악 중절치와 측절치의 정중부 및 근원심으로 2 mm 떨어진 선상에서 백악법랑경계 상방 1, 3, 5 mm 지점의 법랑질 두께 측정값의 평균과 표준오차 및 p값을 구하였다 (Table 3, Fig. 7).

백악법랑경계 1, 3 mm 상방에서는 중절치와 측절치 모두 정중부와 근심 및 원심에서 유의한 차이가 없었다.

백악법랑경계 5 mm 상방에서는 중절치의 경우 정중부와 근심, 근심과 원심 사이에는 유의한 차이가 없었고, 정중부와 원심 사이에는 유의한 차이가 있었는데 원심에서 법랑질이 더 두껍게 나타났다. 측절치의 경우 근심과 원심에서는 유의한 차이가 없었고, 정중부와 근심, 정중부와 원심 사이에는 유의한 차이가 있었는데 근심과 원심에서 정중부보다 법랑질이 더 두껍게 나타났다.

## 고찰

현재까지 치아 경조직의 두께를 측정하는 방법 중 치아를 직접 절단하여 측정하는 방법이 간접적인 방법보다 더 정확하다고 알려져 있다. 그러나 이 방법은 절단된 평면에 따라 측정값이 다양하기 때문에 기술적으로 문제가 있다. 이에 직접적인 측정법의 단점을 보완할 수 있는 방법을 찾고자 microCT를 이용하여 법랑질의 두께를 측정하는 방법의 정확성을 평가해보고 이를 이용하여 법랑질의 두께를 측정하고자 하였다.

Olejniczak과 Grine<sup>30</sup>의 연구 결과 치아를 절단하여 촬영한 주사전자현미경 상에서의 법랑질 두께의 측정값과 microCT 상에서의 측정값의 퍼센트 차이는 3 - 5%로 microCT에 의한 법랑질 두께 측정이 정확하다고 보고하였다. 이번 연구에서 두 방법에 의한 법랑질 두께 측정값을 비교한 결과 퍼센트 차이는 평균 3.81%로 앞의 연구결과와 비슷하였고, independent t-test 결과  $P > .05$  이므로 두 가지 방법에 의한 측정값은 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 따라서 이 실험에 사용된 microCT도 정확하다고 할 수 있다.

법랑질 두께를 측정할 때 정중부의 세 지점에서는 정중부를 지나는 시상면이 법랑상아경계와 수직을 이루기 때문에 시상면 상에서 측정하였는데, 근원심으로 2 mm 떨어진 선상의 6개 지점에서는 시상면은 법랑상아경계와 수직을 이루지 않고 실제 두께보다 더 크게 측정되기 때문에 각 지점을 지나는 수평면에서 법랑질 표면에 접선을 그어 이 접선에 수직으로 법랑상아경계까지 수선을 내려 법랑질 두께를 측정하였다.

Atsu 등<sup>20</sup>은 치아를 절단하여 주사전자현미경을 이용하여 상악 중절치 정중부를 지나는 시상면에서 백악법랑경계 상방 1, 3, 5 mm에서의 법랑질 두께를 측정한 결과가 각각 평균 0.31, 0.54, 0.75 mm라고 보고 하였는데, 이번 연구의 결과는 0.32, 0.50, 0.70 mm로 비슷한 결과가 나타났다.

상악 중절치와 동일한 부위에서 측정한 상악 측절치의 법랑

질 두께는 각각 0.30, 0.55, 0.80 mm로 나타났으며, 상악 중절치와 측절치에서 법랑질 두께는 백악법랑경계 상방 1 mm에서는 중절치가 0.02 mm 두껍고, 3 mm와 5 mm 상방에서는 각각 측절치가 .05, 0.10 mm 두껍다는 결과를 얻었다. 이는 법랑질 두께가 절단면 쪽으로 갈수록 점점 두꺼워지는데 측절치가 중절치보다 크기가 작아서 법랑질 두께가 더 급격하게 두꺼워지기 때문일 것으로 생각된다.

또한 백악법랑경계 상방 1, 3 mm에서 법랑질 두께를 비교해 본 결과 중절치와 측절치 모두 정중부와 근심 및 원심에서 유의할 만한 차이가 없었으나, 근심과 원심에서 정중부보다 다소 두꺼운 경향을 나타내었다. 5 mm 상방에서는 중절치의 경우 정중부와 근심, 근심과 원심 사이에는 유의한 차이가 없었고, 정중부와 원심 사이에는 유의한 차이가 있었는데 원심에서 법랑질이 더 두껍게 나타났다. 측절치의 경우 근심과 원심에서는 유의한 차이가 없었고, 정중부와 근심, 정중부와 원심 사이에는 유의한 차이가 있었는데 근심과 원심에서 정중부보다 법랑질이 더 두껍게 나타났다.

오늘날 심미 보철에 대한 관심의 증가로 도재 라미네이트에 대한 관심과 기술이 점차 증가하고 있다. 도재 라미네이트의 주된 접착력은 법랑질 결합으로부터 얻는데, 이것은 상아질 결합보다 2배 이상 접착력이 크고, 훨씬 큰 파절 저항을 가지며 미세누출이 적은 장점이 있다.<sup>31,32</sup> 그러므로 도재 라미네이트의 성공률을 높이기 위해서는 법랑질 결합의 면적을 최대한 확보하는 것이 중요하며 이는 보철물의 전체적인 질과 수명에 큰 영향을 미친다.<sup>33</sup> 따라서 상악 중절치와 측절치의 부위에 따른 법랑질 두께를 정확히 파악하여 가능한 법랑질 상에서 치질의 삭제가 이루어져야 한다.

도재 라미네이트의 수복을 위해서는 적어도 0.5 mm의 법랑질이 삭제될 필요가 있다.<sup>34-38</sup> 그러나, 이번 연구결과에 의하면 백악법랑경계에서 상방 3 mm까지는 법랑질의 지지를 받기 위해서 더 적은 삭제가 이루어져야만 한다는 것을 알 수 있다.

이번 연구에서의 한계점은 치아 표본 수집 시에 나이와 성별을 분류하지 못하여 연령과 성별에 따른 법랑질 두께를 비교하지 못한 것이며 앞으로 이에 관한 더 많은 연구가 필요할 것이다.

## 결론

다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 동일한 절단면에서 주사전자현미경과 microCT를 이용하여 백악법랑경계 상방 1, 3, 5 mm 지점의 순면 법랑질 두께를 측정 한 값은 평균 3.81% 차이가 났으나, independent t-test 결과 두 가지 방법에 의한 측정값은 통계적으로 유의한 차이가 없었다.
2. 상악 중절치의 정중부에서 백악법랑경계 1, 3, 5 mm 상방의 순면 법랑질 두께는 각각  $0.32 \pm 0.01$ ,  $0.50 \pm 0.02$ ,  $0.70 \pm 0.02$  mm로 나타났다.

3. 상악 측절치의 정중부에서 백악법랑경계 1, 3, 5 mm 상방의 순면 법랑질 두께는 각각  $0.30 \pm 0.01$ ,  $0.55 \pm 0.03$ ,  $0.80 \pm 0.02$  mm로 나타났다.
4. 백악법랑경계 상방 1, 3 mm에서는 중절치와 측절치 모두 정중부와 근심 및 원심에서 유의한 차이가 없었다.
5. 백악법랑경계 상방 5 mm에서 중절치의 경우, 정중부와 근심, 근심과 원심 사이에는 유의한 차이가 없었고, 정중부에 비하여 원심에서 유의하게 더 두껍게 나타났다. 측절치의 경우, 근심과 원심에서는 유의한 차이가 없었고, 정중부에 비하여 근심과 원심에서 유의하게 더 두껍게 나타났다.

## 참고문헌

1. Freidman MJ. Augmenting restorative dentistry with porcelain veneers. J Am Dent Assoc 1991;122:29-34.
2. Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R, Brackett SE. Fundamentals of Fixed Prosthodontics. 3rd Ed. Chicago: Quintessence; 1997, p. 441.
3. Christensen GJ. Veneering of teeth. State of the art. Dent Clin North Am 1985;29:373-91.
4. Clyde JS, Gilmour A. Porcelain veneers: a preliminary review. Br Dent J 1988;164:9-14.
5. Tjan AH, Dunn JR, Sanderson IR. Microleakage patterns of porcelain and castable ceramic laminate veneers. J Prosthet Dent 1989;61:276-82.
6. Ferrari M, Patroni S, Balleri P. Measurement of enamel thickness in relation to reduction for etched laminate veneers. Int J Periodontics Restorative Dent 1992;12:407-13.
7. Edelhoff D, Sorensen JA. Tooth structure removal associated with various preparation designs for anterior teeth. J Prosthet Dent 2002;87:503-9.
8. Christensen GJ. Has tooth structure been replaced? J Am Dent Assoc 2002;133:103-5.
9. Walls AW, Steele JG, Wassell RW. Crowns and other extra-coronal restorations: porcelain laminate veneers. Br Dent J 2002;193:73-6, 79-82.
10. Sheets CG, Taniguchi T. Advantages and limitations in the use of porcelain veneer restorations. J Prosthet Dent 1990;64:406-11.
11. Hui KK, Williams B, Davis EH, Holt RD. A comparative assessment of the strengths of porcelain veneers for incisor teeth dependent on their design characteristics. Br Dent J 1991;171:51-5.
12. Kedici PS, Kalipcilar B, Bilir OG. Effect of glass ionomer liners on bonding strength of laminate veneers. J Prosthet Dent 1992;68:29-32.
13. Peumans M, Van Meerbeek B, Lambrechts P, Vanherle G. Porcelain veneers: a review of the literature. J Dent 2000;28:163-77.
14. Sorensen JA, Munksgaard EC. Relative gap formation of resin-cemented ceramic inlays and dentin bonding agents. J Prosthet Dent 1996;76:374-8.
15. Schneider PM, Messer LB, Douglas WH. The effect of enamel surface reduction in vitro on the bonding of composite resin to permanent human enamel. J Dent Res 1981;60:895-900.
16. Lacy AM, Wada C, Du W, Watanabe L. In vitro microleakage at

- the gingival margin of porcelain and resin veneers. *J Prosthet Dent* 1992;67:7-10.
17. Zaimoglu A, Karaagaçlıoğlu L. Microleakage in porcelain laminate veneers. *J Dent* 1991;19:369-72.
  18. Zaimoğlu A, Karaagaçlıoğlu L, Uçtaşlı. Influence of porcelain material and composite luting resin on microleakage of porcelain laminate veneers. *J Oral Rehabil* 1992;19:319-27.
  19. Sim C, Neo J, Chua EK, Tan BY. The effect of dentin bonding agents on the microleakage of porcelain veneers. *Dent Mater* 1994;10:278-81.
  20. Atsu SS, Aka PS, Kucukesmen HC, Kiliçarslan MA, Atakan C. Age-related changes in tooth enamel as measured by electron microscopy: implications for porcelain laminate veneers. *J Prosthet Dent* 2005;94:336-41.
  21. Grine FE, Stevens NJ, Jungers WL. An evaluation of dental radiograph accuracy in the measurement of enamel thickness. *Arch Oral Biol* 2001;46:1117-25.
  22. Harris EF, Hicks JD. A radiographic assessment of enamel thickness in human maxillary incisors. *Arch Oral Biol* 1998;43:825-31.
  23. Stroud JL, English J, Buschang PH. Enamel thickness of the posterior dentition: its implications for nonextraction treatment. *Angle Orthod* 1998;68:141-6.
  24. Stroud JL, Buschang PH, Goaz PW. Sexual dimorphism in mesiodistal dentin and enamel thickness. *Dentomaxillofac Radiol* 1994;23:169-71.
  25. Scotti R, Villa L, Carossa S. Clinical applicability of the radiographic method for determining the thickness of calcified crown tissues. *J Prosthet Dent* 1991;65:65-7.
  26. Barber FE, Lees S, Lobene RR. Ultrasonic pulse-echo measurements in teeth. *Arch Oral Biol* 1969;14:745-60.
  27. Huysmans MC, Thijssen JM. Ultrasonic measurement of enamel thickness: a tool for monitoring dental erosion? *J Dent* 2000;28:187-91.
  28. Schwartz GT, Thackeray JF, Reid C, van Reenan JF. Enamel thickness and the topography of the enamel-dentine junction in South African Plio-Pleistocene hominids with special reference to the Carabelli trait. *J Hum Evol* 1998;35:523-42.
  29. Beynon AD, Wood BA. Variations in enamel thickness and structure in East African hominids. *Am J Phys Anthropol* 1986;70:177-93.
  30. Olejniczak AJ, Grine FE. Assessment of the accuracy of dental enamel thickness measurements using microfocal X-ray computed tomography. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol* 2006;288:263-75.
  31. Piemjai M, Arksornnukit M. Compressive fracture resistance of porcelain laminates bonded to enamel or dentin with four adhesive systems. *J Prosthodont* 2007;16:457-64.
  32. Nakamura T, Miyamae M, Koh N, Hino T, Maruyama T. Adhesive strength between teeth and resin cements for porcelain laminate veneer. *J Osaka Univ Dent Sch* 1992;32:21-6.
  33. Dumfahrt H, Schäffer H. Porcelain laminate veneers. A retrospective evaluation after 1 to 10 years of service: Part II-Clinical results. *Int J Prosthodont* 2000;13:9-18.
  34. Horn HR. Porcelain laminate veneers bonded to etched enamel. *Dent Clin North Am* 1983;27:671-84.
  35. Calamia JR. Etched porcelain veneers: the current state of the art. *Quintessence Int* 1985;16:5-12.
  36. Weinberg LA. Tooth preparation for porcelain laminates. *N Y State Dent J* 1989;55:25-8.
  37. Chpindel P, Cristou M. Tooth preparation and fabrication of porcelain veneers using a double-layer technique. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1994;6:19-28.
  38. Garber D. Porcelain laminate veneers: ten years later. Part I: Tooth preparation. *J Esthet Dent* 1993;5:56-62.

## A study on enamel thickness of maxillary incisors using X-ray micro computed tomography

Young-Won Cho, DDS, MSD, Jin-Hyun Cho, DDS, MSD, Kyu-Bok Lee\*, DDS, MSD, PhD

*Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Kyungpook National University, Daegu, Korea*

**Purpose:** The objectives of the current study are to assess the accuracy of X-Ray Micro Computed Tomography (microCT) in measuring enamel thickness and to evaluate enamel thickness in maxillary incisors of Koreans. **Materials and methods:** Five maxillary incisors were embedded in resin block. These teeth were longitudinally sectioned labio-lingually through the medial axis. After polishing, the teeth were scanned using a microCT (X-EYE SYSTEM; DRGEM, Seoul, Korea). On a scanning electron microscope (S-4300; Hitachi, Tokyo, Japan) ( $\times 20$ ) and a microCT, nearly identical planes were reconstructed. In each tooth, the thickness of labial enamel was measured 1, 3 and 5 mm above the cemento-enamel junction (CEJ). Thus, the accuracy of the microCT was evaluated. In addition, using 26 maxillary central incisors and 11 maxillary lateral incisors, in the medial axis and 2 mm remote areas mesially and distally from the medial axis, the thickness of labial enamel was measured 1, 3 and 5 mm above the CEJ along the long axis of the teeth. **Results:** Measurements from nearly identical planes in physical and microCT sections differed by 3.81%. An independent t-test was performed and this showed that there were no significant differences in the measurements between the two methods. Mean values of labial enamel thickness in maxillary central incisors 1, 3 and 5 mm above the CEJ were  $0.32 \pm 0.01$ ,  $0.50 \pm 0.02$  and  $0.70 \pm 0.02$  mm, respectively. Mean values of labial enamel thickness in maxillary lateral incisors 1, 3 and 5 mm above the CEJ were  $0.30 \pm 0.01$ ,  $0.55 \pm 0.03$  and  $0.80 \pm 0.02$  mm, respectively. **Conclusion:** In measuring enamel thickness, microCT is one of useful way of measurement. So according to the results of this research, when restoring a porcelain laminate veneer on maxillary incisors in Koreans, careful consideration is needed in the amount of enamel reduction. (*J Korean Acad Prosthodont* 2010;48:301-7)

**Key words:** Enamel thickness, MicroCT (X-Ray Micro Computed Tomography), Scanning Electron Microscopy, Cemento-enamel junction, Porcelain laminate veneer

\*Corresponding Author: **Kyu-Bok Lee**

*Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Kyungpook National University, 188-1 Samduk-dong 2ga, Jung-gu, Daegu, 700-412, Korea*

+82 53 600 7651: email, kblee@knu.ac.kr

*Article history*

*Received October 6, 2010/ Last Revision October 14, 2010/ Accepted October 16, 2010*