原 著 論 文

ポーセレンラミネートクラウンの力学的検討

日永田裕子 沖本 公繪 家入 浩二 平安 亮造

Stress Analysis of Porcelain Laminate Veneers

Hiroko Hieda, Kimie Okimoto, Kōzi Ieiri and Ryōzō Hirayasu

Abstract : For this purpose, the stress distribution produced on the porcelain and resin cement layer of prosthetic porcelain laminate veneer crown on upper central incisor, under the different loads were applied to the normal coverage portion and the incisal edge portion at an angle of 45° or 0° to the tooth axis, were estimated in the present study with respect to the shape of the abutment tooth for the laminate veneer crown, by means of finite element method as well as model tests.

The results obtained were as follows :

1. When the load force was applied to the incisal edge of abutment tooth covered over the incisal edge by porcelain, the tensile stress in the porcelain and the maximum shear stress at resin cement layer were most distinct.

Furthermore load distribution was parallel to the tooth axis, the highest tensile stress was produced in the porcelain.

2. The maximum shear stress at resin cement layer were dependent on the sites of the prostheses in resin cement layer rather than the amount of them.

3. As for a model test, there was no risk of fracture of the porcelain under the load within 15 kg.

Key words : stress analysis, finite element method, porcelain laminate veneers

I. 緒 言

変色歯, 失活歯, 欠蝕や破折による歯質の実質欠損, 歯間離開などの前歯の審美回復には, 従来よりレジンおよびポーセレンジャケットクラウン, 陶材焼付冠修復法などが用いられ, 近年ではセラモメタル他セレストアクラウン等が普及しつつある。

近年, 欧米を中心に臨床に定着しつつあるポーセレンラミネートベニア法^{1~21)}は, 歯質の削除量が少ないという最大限の利点に加えて色調再現も優れており, さらに強度的にも光重合コンポジット・レジンをポーセレンベニアと歯質との間に介在させて接着するため, ベニアと歯質が一体化し, さらにシランカップリングの併用により強度が増す^{22~25)}という点からこれから先多く臨床にとり入れられていくと思われる。

多数歯の歯冠修復も, フルカバレッジに比較するとラミネートクラウンは臨床術式も簡便に行えるという利点をもっているが, 反面, 破折に対する危惧, 支台歯の形態²⁶⁾, 適応症の選択といった問題をかかえている。

九州大学歯学部歯科補綴学第一講座 (主任: 平安亮造教授)
1st Department of Prosthetic Dentistry Faculty of Dentistry, Kyushu University (Chief: Prof. Ryōzō Hirayasu)
昭和63年4月4日受付

Fig. 1 モデル外形と寸法

今回は、ポーセレンラミネートベニア法を施した上顎中切歯に咬合力が加わった場合を想定して、支台歯の形態の違いおよび荷重位置の差、さらにラミネートベニアを支台歯に合着する際にレジセメント層に発生する気泡の存在が修復物に及ぼす力学的な影響を明らかにするために、二次元有限要素法による解析と模型実験を行った。

II. 解析方法

1. 有限要素法による解析

本研究に用いたモデル外形と寸法の決定に際しては、中切歯抜去歯牙 50 本中より平均的な形態と寸法をもつ歯牙を万能投影器でトレースを行った。

さらに歯牙を正中矢状面で切断し、エナメル層の厚さを測定したものと、成書²⁷⁻³¹⁾を参考として中切歯の正中矢状断面のエナメル層の厚さ等を求めた。

支台歯の唇側歯質削除量は 0.5 mm とし、歯頸部辺縁形態はシャンファータイプを想定した (Fig. 1)。

Fig. 2 は有限要素法による解析のためのモデルの分割図である。節点数 763、要素数 740 に分割し、固定点 (歯根部) 27 か所とした。

Fig. 3 は支台歯、ラミネート修復物形状と荷重位置である。支台歯形態は、支台歯の切縁形態が切端まで、修復物が切縁をおおわないものを Type I、切縁を 0.5 mm 削除し修復物が舌側 0.5 mm まで被覆する場合を Type II、さらに修復物が舌側の 1.0 mm まで被覆するものを Type III の 3 type とした。

荷重位置は、切端 (A)、切縁より 1.0 mm 歯頸部寄り

Fig. 2 分割図

Fig. 3 モデル外形と荷重位置

(B)、平均的的被蓋位置 (C)、舌面中央 (D)、基底結節部 (E) の 5 か所に定め、荷重方向は (A) のみ歯軸と平行 (90°) にし、(B) (C) (D) (E) は歯冠部歯軸に対して 45° の方向とした。また、荷重量は前歯の最大咬合力の 15.0 kg (解析値は 22.5 kg) を想定した。

Table 1 は今回使用した各構成材料の材料定数である。

以上、5 種類の荷重条件、3 種類のモデル形状の組合せにより、15 種類の解析に加え、修復物を支台歯に接着する際に生じるセメント層の気泡を想定して 9 種類の気泡発生時の条件設定 (Fig. 10) により、計 24 種の解析を富士通 FEM IV にて行った。

解析結果の評価には、ポーセレンベニアクラウン部は

Fig. 4 模型実験

Table 1 材料定数

	Young's Modulus (kg/mm ²)	Poisson's Ratio
Enamel	6000.0	0.30
Dentin	1400.0	0.28
Porcelain	10000.0	0.20
Resin	300.0	0.35

最大引張応力, レジンセメント部では剪断応力を応力評価とした。

2. 模型実験・材料と方法

比較的形態の似た上顎中切歯抜去歯牙 20 本を用い, 13 本を FEM (Finite Element Method) モデルでの Type I (切端まで), 7 本を Type III (舌側 1.0 mm まで被覆) の支台歯形成を行った。歯頸部マージンはシャンファertype, 歯質削除量は 0.5 mm とし, 隣接面は接触点よりわずかに唇面寄りまで削除した (Fig. 4)。

ラミネートクラウンの焼成には, 米 Pentron 社ペンクラフトポーセレンパウダーを用い, 100°C で 30 分乾燥, 600°C で 15 分間予備乾燥後, 900°C で 5 分間第一次焼成を行った。第二次焼成 (第一次と同じ) 後, 大気中

Fig. 5 ポーセレンベニアに生じる最大主応力

にてグレーズを行った^{17,19,21)}。

焼成を終えたベニアクラウンの平均厚さは切端 0.738 mm, 中央部 0.654 mm, 歯頸部 0.589 mm であった。

これらのラミネートベニア内面をサンドブラスティング, 超音波洗浄 (3 分間) 後, エッチング (2 N 塩酸溶液, 15 分間), 水洗, ボンディング剤塗布 (30 秒), 乾燥処理をした。また, エナメル質をエッチング (1 分間) 後, 水洗, 乾燥, ボンディング剤塗布 (30 秒), 乾燥後, 上記ラミネートクラウンを光重合レジン (日機装, “レインボー” システム) にて 30 秒間照射重合した。

荷重試験は, 各モデル荷重方向が舌面に垂直になるようにして超硬石こうで固定し, 荷重位置は切端と正常被蓋位置に相当する切端から 2.8 mm の 2 か所とした。

島津オートグラフ S 型を使用し, 線状の静止圧荷重をクロスヘッドスピード 0.5 mm/min で加え, ベニアクラウンが剝離あるいは破折した時の荷重値を測定した。

III. 結 果

1. 有限要素法の結果

1) ポーセレンベニアに生じる最大主応力

Fig. 5 は Type I に A, B, C, D, E の各荷重を加えた場合に, ポーセレンベニア部分に生じる 0.1 kg/mm² 以上の最大主応力の大きさを図示したものである。内外二層に分けたポーセレン部の外側要素に生じる応力値は外に向かって, 内側に生じる応力は内に向かって表している。

A 荷重では, 引張り応力は切端部分に極端に集中して

Fig. 6 各 type, 各荷重においてポーセレンベニア部に生じる引張り応力の最大値とその位置

いる。B 荷重では, 歯頸部近くと支台歯の切端高に相当する部位に比較的均等な大きさで応力が分布する。C 荷重では切端から支台歯の切端高にかけて, D 荷重では支台歯の 1/3 の高さをピークとして応力が分布している。E 荷重では切端寄り 1/3 を除くポーセレン部分に応力が発生し, 歯頸部が最も大きな値となっている。また, 応力の最大値は, A 荷重での切端付近の 1.48 kg/mm² であった。

Fig. 6 は, 各 type, 各荷重においてポーセレンベニア

Fig. 7 レジンセメント層の剪断応力

部に生じる引張り応力の最大値とその位置の比較をしたものである。

荷重 A, B では Type による顕著な差が認められた。荷重 A では、切端付近に発生した最大応力値は Type III は Type I の約 1.32 倍, Type II の約 1.29 倍を示しその値は 2.097 kg/mm^2 であった。また、荷重 B でも、Type III が一番応力値が大きく 1.16 kg/mm^2 で Type I, Type II の約 1.66 倍の値を示した。荷重位置 C, D, E では最大応力発生位置、大きさとも Type 別による差は認められなかった。

2) レジンセメント層の剪断応力

Fig. 7 は Type I~III の各 Type に荷重 A~E を加えた場合のレジンセメント層の剪断応力の比較である。レジンセメント層を (Fig. 7 の右側) のように、歯頸部から 1~12 に区分して、各要素の剪断応力を縦軸に、部位を横軸にプロットした。

A, B 荷重では 1~7 までは荷重による差はないが、部位 8, 10 から差が認められた。A 荷重では部位 11 で Type I の剪断応力値が一番大きくなり、Type III, Type II と続き、部位 12 で逆転している。B 荷重では部位 8 まで Type による差はないが、それ以後は Type III の剪断応力値が最大で、Type I, II にはほとんど差は認められなかった。C, D, E 荷重については、Type による

剪断応力値の差は認められなかった。次に荷重位置別に見ると、D, E 荷重では全体に剪断応力は顕著ではなく、最大で 0.042 kg/mm^2 が部位 10 に生じているのに対し、A 荷重では部位 11, B 荷重では部位 1 と部位 10 の剪断応力値が著しく大きく、その値は $0.4 \sim 0.5 \text{ kg/mm}^2$ であった。

Fig. 8 は、Type I~III のモデルに A~E の荷重を加えた時に各ベニア先端部（切端部および歯頸部）に発生する剪断応力を比較したものである。Type I~III の歯頸部を a, Type I の切端部を b, Type II の切端部を c, Type III の切端部を d としている。

歯頸部 a では、各 Type による差は認められず、荷重別に見ると B 荷重で剪断応力は最大となり 0.43 kg/mm^2 であった。切端部を見ると、Type I での切端部 b では A 荷重で最大 0.32 kg/mm^2 であるが、Type II の先端部 c では A 荷重で Type I (b) の約 7 倍の 2.25 kg/mm^2 , B 荷重で 0.94 kg/mm^2 と剪断応力値は増大している。Type III の先端部 d では、Type II の先端部 c よりはやや小さいながらも A 荷重で Type I (b) の約 1.65 倍の 0.53 kg/mm^2 , B 荷重で最大剪断応力値 1.04 kg/mm^2 を示している。

3) 有気泡時の剪断応力

ラミネートクラウンを支台歯に装着する際にレジンセ

Fig. 8 ベニア先端部に生じる剪断応力

Fig. 9 レジン層の電顕写真

(A) 集中気泡 (B) 分散気泡

メント層に発生する気泡には、電顕写真 (Fig. 9) のように分散気泡と集中気泡がみられる。

したがって、Fig. 10 のように気泡を分散気泡と集中気泡に分けて有気泡時の解析モデルを設定した。

モデルは Type I とし、荷重位置は c (平均的被蓋位置) で行った。a, b, c は分散気泡でレジンセメント層面積の各 6.7, 10, 15% 気泡が存在するものである。d, e, f, g, h, i は集中気泡で、d は歯頸部寄り 5% の気泡が 2 個、計 10% の気泡の存在を示し、以下同様に、e は歯頸部に 5% の気泡が 1 個と歯冠中央に 5% の気泡が 1 個計 10%、f は切端寄りに 5% の気泡が 1 個、g は歯頸部に 5% の気泡が 1 個、h は歯冠中央よりやや歯頸部寄りに 5%

の気泡が 1 個、i は切端に 5% の気泡が 1 個である。

結果は、Fig. 11 に示す。応力比較部位はレジンセメント層の 1: 歯頸部マージン部、2: マージンのやや上方、3: ラミネートクラウンのほぼ中央、4: 切端マージン部の剪断応力とした。なお横軸は各気泡のケース、縦軸は剪断応力値を示している。

部位 1 (歯頸部マージン部) における剪断応力を見ると、分散気泡 (a, b, c) では気泡がない場合 (control) よりわずかに剪断応力は上昇している。この時の control の応力値は 0.295 kg/mm² であった。集中気泡 (d~i) では、切端付近に気泡が存在する f, i 以外は d, e, g, h ともに剪断応力値は約 20% 増加している。

Fig. 10 気泡の設定

Fig. 11 レジンセメント層の剪断応力 (気泡発生時)

部位 2 でも部位 1 とほぼ同傾向にあるが、歯頸部に集中気泡が存在する d, e, g の剪断応力が約 25% 上昇している。

部位 3 では、部位 1, 2 で control と差が生じなかった分散気泡でも剪断応力は上昇し、気泡率が 15% になると、control に比べ約 20% 応力値が大きくなっている。集中気泡では、気泡の位置が測定部位に近い e, f の値が約 25% 大きくなっている。

部位 4 では、気泡の位置、気泡の量にかかわらず a~i とともに剪断応力値は control と差はなく、値は 0.03 kg/

mm² 以下であった。

2. 模型実験結果

ポーセレンベニアクラウンの破折テスト結果を Fig. 12 に示す。

Type I で、ベニアクラウンの剝離が 7 ケース (22, 33, 52, 55, 57, 58, 130 kg)、ベニアクラウンの破折が 4 ケース (22, 28, 57, 63 kg)、歯質の破折が 2 ケース (75, 82 kg) であった。

Type III では、ベニアクラウンの剝離が 2 ケース (52,

Fig. 12 ポーセレンベニアクラウンの破折テスト結果

75 kg), ベニアクラウンの破折が 3 ケース (18, 30, 39 kg), 歯質の破折が 2 ケース (82, 120 kg) であった。

IV. 考 察

ポーセレンラミネートベニアクラウンは、審美性に優れている上に臨床術式も簡便といわれているが、支台歯の形態やポーセレンの破折、剥離の可能性が臨床上の問題となるところである。

ポーセレンの引張強度を 3.03 kg/mm^2 と考えるならば、Fig. 6 の結果をみると平均的被蓋位置 (C), 舌面中央 (D), 基底結節部 (E) に荷重をかけた場合、支台歯の形態にかかわらずラミネートベニアクラウンに生じる最大引張り応力は約 0.65 kg/mm^2 と影響はあまりないと考えられる。また、荷重 A, B の切端と正常被蓋位置荷重については、Type I (支台歯の切縁形成が切端まで)、Type II (切縁を 0.5 mm 削除し、修復物が舌側 0.5 mm まで被覆する場合) では、A 荷重では 1.6 kg/mm^2 の引張り応力が切端部に、B 荷重で 0.65 kg/mm^2 の引張り応力が切端部より約 1.0 mm 歯頸部側に生じ、さらに Type III (修復物が舌側 1.0 mm まで被覆する場合) では、A 荷重では切端部に 2.09 kg/mm^2 、B 荷重でも切端部より約 1.0 mm 歯頸部側に 1.16 kg/mm^2 が生じている。このことは、通常の咬合圧程度では支台歯のどのタイプにおいてもポーセレンベニア部の破折という直接の危険性はないが、Type III の支台歯形態においては切端

咬合の場合に破折の危険性を含んでいることを示唆している。

次にラミネートベニア部の剥離について考えると、術式の不備による剥離は別問題として、支台歯の形態とベニア部の剥離を生じさせるレジンセメント層内に発生する剪断応力の関係では (Fig. 7, 8) C, D, E 荷重では Type I~III とともに切端より 1.5 mm 歯頸部側に 0.3 kg/mm^2 、A, B 荷重 (切端方向) では、Type I では切端部分に最高 0.48 kg/mm^2 であるが、Type II では A 荷重の時切端部分に 2.25 kg/mm^2 、Type III では B 荷重時切端部分に 1.04 kg/mm^2 と剪断応力は大きくなる。しかし、レジンの剪断応力を $4.89 \sim 8.06 \text{ kg/mm}^2$ ³²⁾ とするならば、Type I~III の支台歯形態において設定したすべての荷重 A~E に対してレジンセメント層の剥離は少ないと思われる。

ベニアクラウンを支台歯に接着する際の不手際の 1 つとしてレジンセメント層内に気泡を埋入することがあり、気泡の大きさ、位置によって、審美性の劣化に加えてレジンセメント層内の剪断応力が変化することが考えられる。このことがベニアクラウンの剥離の危険性につながるかどうかを検討するために、レジンセメント層内に種々の気泡を設定し Type I 支台歯形態に正常被蓋位置に 15 kg 相当の荷重を加えた場合の解析を行った結果 (Fig. 11), 分散気泡では 10% 内で気泡なしとの差はなく、15% になると約 20% 応力が増加する。集中気泡では、切端部以外では気泡率よりも気泡の部位により剪

断応力は変化し、歯頸部では 15% 以内の分散気泡よりも 5, 10% の集中気泡の方が剪断応力への影響は大きいと考えられる。なお、有気泡時の最大剪断応力は 0.359 kg/mm^2 でありレジンの剪断応力 $4.89 \sim 8.06 \text{ kg/mm}^2$ に比較すると、15% までの分散気泡および 10% までの集中気泡の存在はレジンの剝離に対しては致命的な要因とはならない、と思われる。

しかし、今回は荷重位置が正常被蓋の場合の結果であるため、もしマージン部に集中気泡を設定し切端付近の荷重を加えた場合は、剪断応力がさらに大きくなることが予想され、マージン部からのベニアクラウンの剝離の危険性も考えられる。

模型実験では (Fig. 12), Type I 13 ケースのうちポーセレンベニアの剝離が 7 ケース、ポーセレンベニアの破折が 4 ケース、歯質の破折が 2 ケースであった。

このうち、ポーセレンベニアの剝離は $22 \sim 130 \text{ kg}$ で起こり、破折は $22 \sim 63 \text{ kg}$ 、歯質の破折は $75, 82 \text{ kg}$ であった。

Type III では、7 ケース中ポーセレンベニアの剝離は 2 ケース ($52, 75 \text{ kg}$)、破折は 3 ケース ($18, 30, 39 \text{ kg}$)、歯質の破折は 2 ケース ($82, 120 \text{ kg}$) であった。

このような模型実験では、条件の設定が難しく支台歯形状、大きさ、その新鮮さ程度、また支台歯形成の差等数多くの要因を含んでいるが、前歯部最大咬合力といわれる 15 kg 以下では剝離、破折は起こらず、 75 kg 以上の高荷重時には歯質自身の破折が生じるケースもみられ、ポーセレンベニアは臨床に使用するには十分な強度をもつと考えられる。

V. 結 論

ポーセレンラミネートベニア法を施した上顎中切歯に咬合力が加わった場合を想定して、二次元有限要素法的解析と模型実験を行った結果、以下の知見が得られた。

1. ポーセレンベニア部への影響

荷重位置が切端方向の場合、支台歯形態による差が見られ、ベニアクラウンが舌側まで被覆した場合が最も応力値が高い。

また、荷重方向から考えると切端方向からの荷重の場合が最も応力値が高い。

2. レジンセメント層への影響

荷重位置が切端方向の場合は、切端付近に支台歯の形態による影響が認められ、最先端部 (切端) では、ベニアクラウンが舌側まで被覆した場合が最も応力値が高

い。

3. 気泡による影響

分散気泡よりも、集中気泡による剪断応力への影響が大きい。また集中気泡の場合、気泡率よりも気泡の部位により大きく左右される。

4. 模型実験

15 kg 以内ではポーセレンベニアの剝離、破折はみられず、 75 kg 以上の高荷重時には歯質自身の破折がみられた。

以上により、正常被蓋位置からの荷重に対してはベニアクラウンは力学的に十分臨床に耐え得るものであるが、支台歯を舌側まで形成した時やマージン部分に集中気泡が存在した時に切端から咬合力が加わった場合には、ベニアクラウンの剝離、破折の危険性が考えられる。

稿を終るに臨み、本研究に懇切なるご指導を賜りました九州大学応用力学研究所、高雄善裕助教授に感謝の意をささげます。また種々、ご協力いただきました応用力学研究所の所員各氏に深謝いたします。

本論文の要旨は、昭和 62 年 5 月、第 77 回日本補綴歯科学会学術大会において発表した。

文 献

- 1) Weiner, S.: Staining Porcelain veneer restorations, J Prosthet Dent, 44 (6): 670~672, 1980.
- 2) Chiche, G.J., Mikhall, M.G.: Atraumatic removal of porcelain veneer crowns after interim cementation, J Prosthet Dent, 53 (2): 164~165, 1985.
- 3) Mclean, J.W.: Surface characterization of the porcelain veneer crown (II), Quintessence Int, 10 (11): 27~32, 1979.
- 4) Mclean, J.W.: Surface Characterization of the porcelain veneer crown (I), Quintessence Int, 10 (10): 65~69, 1979.
- 5) Ibsen, R.L. and Strassler, H.E.: An innovative method for fixed anterior tooth replacement utilizing porcelain veneers, Quintessence Int, 19 (8): 455~459, 1986.
- 6) Calamia, J.R.: Etched porcelain veneers: The current state of the art, Quintessence Int, 16 (1): 5~12, 1985.
- 7) Braze, G.W.: Cosmetic Laminate dentistry……for better or for worse. Part III……the porcelain laminates; Trends Tech Contemp Dent Lab, 3 (2): 20~23, 1986.
- 8) Christensen, G.J.: Veneering of teeth. State of the art., Dent Clin North Am, 29 (2): 373~391, 1985.

- 9) Minato, K.S. : Esthetic porcelain veneers, Part II, Hawaii Dent J, 17 (8) : 12~14, 1986.
- 10) Minato, K.S. : Esthetic porcelain veneers, Part I, Hawaii Dent J, 17 (7) : 12, 15, 21, 1986.
- 11) Boksmann, L., Jordan, R.E., Suzuki, M., Galil, K.A., and Burgoyne, A.R. : Etched porcelain labial veneers, Ont Dent, 62 (1) : 11, 13, 15~19, 1985.
- 12) Czarkowski, M.A. : Porcelain-laminate veneer and duralingual bridge studied and evaluated, 78 (2) : 23~29, 1985.
- 13) Quinn, F., McConnell, R.J. and Byrne, D. : Porcelain laminates, a review, Br Dent J, 161 (2) : 61~65, 1986.
- 14) 今井 誠 : 光重合型接着性レジンとポーセレンラミネートベニアによる変色歯の修復について, 補綴誌, 31 (1) : 224, 1987.
- 15) 保母須弥也, 岩田健男 : 鑄造用アパタイト質セラミックスによるベニア修復法, the Quintessence, 14 (3) : 103~120, 1985.
- 16) 岩田健男 : ポーセレン・ラミネートベニア法の臨床, the Quintessence, 5 (8) : 39~54, 1986.
- 17) 田村勝美, 岡部弘昭 : ポーセレンラミネートベニアテクニックの技工術式, 歯科技工, 14 (8) : 949~956, 1986.
- 18) 中川孝男, 田村勝美 : ポーセレンラミネートテクニックの概要とその接着操作, 歯科技工, 14 (8) : 963~973, 1986.
- 19) 田村勝美, 岡部弘昭 : ポーセレンラミネートテクニックにおける技工の要点, 歯科技工, 14 (8) : 975~983, 1986.
- 20) 中川孝男, 田村勝美 : ポーセレンラミネートテクニックによる審美修復, 歯科技工, 14 (8) : 984~988, 1986.
- 21) 田村勝美 : ポーセレンラミネーションテクニックの臨床, 歯科技工, 13 (10) : 1244~1252, 1985.
- 22) Simonsen, R.J. and Calamia, J.R. : Tensile bond strength of etched porcelain, J Dent Res (Abstract), 1154, March, 1983.
- 23) Buonocor, M.G. : A simple method increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surface, J Dent Res, 34 : 849, 1955.
- 24) Bowen, R.L. : Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissues I~V, J Dent Res, 44 : 690 (I), 895 (II), 903 (III), 906 (IV), 1369 (V), 1961.
- 25) Silverstone, L.M.S., axton, C.A., Dogon, I.L. and Fejerskov, O. : Variations in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy, Caries Res, 9 : 373, 1975.
- 26) Harry, F. and Albers, D.D.S. : Tooth colored restorations, A Text for Selection, Placement and Finishing, Seventh Edition.
- 27) 浅塾 舛 : 上顎中切歯の測径成績に就て, 臨床歯科, 2 : 1930.
- 28) 有田正俊 : 切歯幅に関する統計学的研究, 歯科学雑誌, 8 : 1952.
- 29) 吉永喜久雄 : 上顎中切歯の臨床的研究, 口腔科学, 4 : 1941.
- 30) 藤田恒太郎 : 日本人の永久歯の大きさについて, 解剖学雑誌, 24 : 1949.
- 31) 藤田恒太郎 : 歯の計測規準について, 人類学雑誌, 61 : 1949.
- 32) Craig, R.G., Pexton, F.A. : Restorative dental materials, fifth edition, 435, 1975.