緩圧性を有する人工歯応用義歯支台の変位分析

—食片形態の違いによる支台歯の変位特性—

高 尾 真 治

九州歯科大学歯科補綴学第1講座 (指導: 守川雅男教授)

平成11年8月25日受理

Displacement Analysis of Abutment Tooth of Distal Extension Removable Partial
Dentures with Teeth Utilizing Resilient Soft Layer
—Displacement Characteristics of Abutment Tooth Exhibited
by Crushing Various Shaped Food—

Shinji Takao

First Department of Prosthetic Dentistry (Director: Prof. Masao Morikawa)
Kyushu Dental College, Kitakyushu, Japan

This pilot study aims at inquiring into Tokumaru's investigation on the abutment tooth movements of the denture with the resilient dental teeth more closely. Various shaped test food were placed on the dental tooth and/or teeth of the unilateral mandibular distal extension removable partial dentures without soft liner (design Ct), ones with resilient silicone layer under the basal seat of dental teeth (design E), and ones with ordinal soft liner over the denture base (design R) which were made on the simulation model of Kennedy class II missing of the right second premolar, first and second molars. And the movements of the abutment tooth ($\overline{4}$) in each design denture when crushing respective shaped test food were measured by using digital laser displacement sensors and the measured values were reciprocally compared through the statistical analysis.

The results obtained were as follows:

1. Comparison of the abutment tooth movements of each designed denture:

1) The inclination of the abutment tooth when crushing various shaped test food was the largest of all in design R3 significantly ($p < 0.001$). And there was a significant difference ($p < 0.05$) between those of E3 and Ct while the load was relatively small and the former showed small inclination, but no significance was found between those of E3 and Ct when the load increased.

2) Twist like movement on design E3 was also the smallest of all designs, and Ct and R3 in order. And high significance was detected between those of E3 and Ct, and between Ct and R3, and the most high significance was recognized between those of E3 and R3.

3) Although the depression in Ct showed a extreme variation by crushing various shaped food, that of E3 was not affected very much and exhibited almost constant one, and the

smallest depression and the largest one were observed in E3 and in Ct respectively.

4) The parallel movement was the largest of all in design R3 significantly ($p < 0.001$). However, there was no significant difference between those of E3 and Ct while the load was relatively small in contrast with the inclination, but as the load increased, a significant difference between both designs gradually appeared showing larger parallel movement in E3 than that of Ct ($p < 0.05$).

2. Depending on the type of food shape, considerably large difference was recognized in abutment tooth behaviours. Especially food type-b induced larger inclination and depression in the abutment tooth. This fact seems to suggest the necessity of reexamination on the occlusal treatment of the fixed and removable prostheses which sometimes puts into practice as one of the clinical techniques now.

3. In buccolingual displacement of the denture base, that of R3 was significantly larger than those of E3 and Ct respectively ($p < 0.01$, $p < 0.05$), and that of E3 had a tendency to be smaller than that of Ct, although there was no significant difference between those of E3 and Ct.

On the basis of the foregoing findings, the resilient dental tooth has some problems for the complete assembly. However, surely this dental tooth will be one of the excellent component of removable partial dentures by the above facts that were able to minimize the inclination and the twist like movement of the abutment tooth.

Key words: Teeth utilizing resilient soft layer / Displacement analysis of abutment tooth /
Distal extension removable partial denture

緒 言

残存組織、ことに支台歯に可及的に為害作用を及ぼすことなく、如何に機能性を発揮させ得るかが良好な維持装置をはじめ義歯構成要素を考える場合の基本であることは言うまでもない。その為害性の判断基準のひとつとして、義歯の動きを抑制できると同時に支台歯に加わる側方力を可及的に垂直圧に置換し得る義歯デザインであることが、歯根膜の解剖学的な特徴^{1,2)}と歯根膜と床下粘膜の圧沈下量差³⁻¹⁸⁾の点から挙げられている。支台歯の動きに最も影響を及ぼすものとして維持装置がまず考えられるため、当教室¹⁹⁻³²⁾においても、また世界的³³⁻⁵⁰⁾にも数多くの報告がされている。また支台歯の挙動に影響を及ぼすものとして、その他の構成要素である連結装置、義歯床形態および人工歯があるが、とくに後者は、生体における多くの部位、歯根膜、関節円板（胸鎖関節、顎関節）、膝関節の半月、長骨の骨端部の海綿層ならびに咬筋の斜走線維などにもみられる緩衝機構と同様の機構を軟

性材により、通常の義歯床粘膜面あるいは義歯床中間層に使用することなく人工歯基底面に使用したものである。

この人工歯について、徳丸（1999）³²⁾は、通常的人工歯を用いた場合と比較してかなり良好な結果、つまり支台歯の傾斜や捻転などの側方力の軽減が可能であったと報告している。しかしながら、その研究は単一板状形態の試験食片を破碎した場合の結果について報告したものであり、実際の日常臨床で起こり得る種々の食片形態破碎時については触れられていない。もしこの緩圧性を有する人工歯が優れたものであれば、あらゆる食片形態破碎時、あらゆる咬合接触状態においても同様の優位性が証明されなければならない。

本研究は、徳丸³²⁾が緩圧性を有する人工歯に用いる裏装軟性材の適切な厚さについて検討したのに対して、種々の形状をもつ食片破碎時においても果たして同様の特性を発揮できるかを支台歯の挙動から追跡調査した。

実験方法

A. シミュレーションモデル

シミュレーションモデルは徳丸 (1999)³²⁾ と同一形態の、臨床的にも発現頻度の高い下顎右側第2小臼歯、第1大臼歯および第2大臼歯が欠如した Kennedy II級のレジン模型(ニッシン)を用い、支台歯 4]の変位分析を行った。また疑似歯根膜や疑似顎堤粘膜も徳丸 (1999)³²⁾ に準じて、歯頸部 0.75 mm、根尖部 1.05 mm の厚さにシリコンラバー (エバタッチ, ネオ製薬) を填入して移行的に形成した。これを堅牢な咬合器 (ニッシン) に上顎有歯顎レジン模型と咬頭嵌合位で付着し、正常な咬合状態が得られるように咬合調整した後、実験を行った。

B. 各種パーシャルデンチャーのデザイン

維持装置は、クラスプの最も基本的な形態であるキャスト・エーカーズを用い、人工歯は硬質レジン歯 30° (エンデュラポステリオ, 松風) を用い、加熱重合レジン (アクロン, ジーシー) で義歯床を製作した。

この通常の義歯形態のデザインをコントロール (Ct) とし (Fig. 1), その人工歯の基底部に軟性材を使用した義歯 (E-タイプと呼ぶ) の厚さだけを変えたもの 0.5 mm (E1), 1.0 mm (E2), 1.5 mm (E3), 3 種類を用意した (Fig. 2-1, Fig. 2-2)。また通法通りに義歯床粘膜面を軟性材でリライン義歯 (R-タイプと呼ぶ) の厚さを変化させた 0.5 mm (R1), 1.0 mm (R2), 1.5 mm (R3) (Fig. 3) を製作し、上記 E-タイプのそれぞれの支台歯の挙動と比較した。クラスプに歯科鑄造用 12 % 金銀パラジウム合金を用い、各種デザインの義歯床を繰返し、クラスプの定位置に着脱、交換できるようにネジ止めた。

C. 食片形態

徳丸³²⁾ の報告にみられるように、緩圧性を有する人工歯応用義歯支台の変位量が他のデザインのものと比較してかなり小さかったと述べられているが、その要因の一つとして咬合力が加わった場合、個々の人工歯がそれぞれ自由な動きをして直接支台歯に衝撃として伝達されなかった点が考えられる (Fig. 2-2)。

本研究では、支台歯の挙動から人工歯のその動きを推測、追試することが目的であったため、食片形態も個々の動きが最も発現できると考えられた形態にした。徳丸の研究では人工歯全域を被覆するような形態の板状試験食片 (ジャガイモ): 12×35×2 mm (食片 a と呼ぶ) が用いられているが、本研究では人工歯 5], 6] および 7]

Fig. 1 Design Ct (Control) denture without soft liner.

Fig. 2-1 Design E type denture with resilient silicone layer under the basal seat of the dental tooth.

Fig. 2-2 A schematic diagram of the denture with soft liner relined teeth and the behavior of the tooth under load.

Fig. 3 Desing R type denture with ordinal soft liner under the denture base.

Fig. 4 A schematic diagram of the abutment tooth and measuring points (p1, p2, p3, p4, and p5 where was placed on the bucco-distal denture base terminal).

の個々の咬合面上に介在させる形態 ($12 \times 5 \times 2$ mm) のもの (食片 b, c, d) と人工歯頬、舌側咬頭頂上に介在させる形態 ($5 \times 35 \times 2$ mm) のもの (食片 e, f) の 5 形態を追加、使用した。

D. 計測方法

計測方法も徳丸 (1999)³²⁾ の方法に準じ、歯根先端からアクリル製延長ロットを支台歯長軸に沿って延ばし、歯軸延長ロット上の歯冠咬頭頂・歯根間距離 $2/3$ と同距離の点を第 1 計測点、その点から 4 倍延長した点を第 2 計測点 (矢状面点)・第 3 計測点 (前頭面点)、さらに第 1 計測点から直角に頬側方向へ第 1 計測点と第 2・3 計測点間同等距離を延長した点を第 4 計測点とした。また義歯床の頬舌的な動きをみるため義歯床遠心端を第 5 計測点 (Fig. 4) として、上記、各種食片を上下歯列間に介在させ、トーチ式簡易型デジタル引張圧縮試験機 PS-10 (東京試験機) により中切歯間相当部に垂直的な 0.5 mm/秒の定速荷重を加えた場合の 3, 5, 7 kg 加重時における支台歯の変位量を求めた。

また支台歯変位量の計測には、分解能 $2\mu\text{m}$ の高精度半導体レーザ変位計 LB-62 (キーエンス) を用い矢状面、前頭面および下方からそれぞれ繰り返し 7 回ずつ行い、最大値および最小値を除去した 5 回の計測値を城下 (1997)²⁶⁾ の式に入れ、三次元的に歯体移動量、傾斜角および傾斜量、捻転角および捻転量、沈下量を求め、 t -検定によって、各種食片破碎時の同一支台歯における各種デザイン間の変位量および義歯床の動きについて有意差を検討した。なお、傾斜量や捻転量は角度によっても求めているが、従来の当教室の報告にあわせてそれぞれ歯冠頂の傾斜を歯軸からの距離および頬側咬頭頂の原点からの回転量で表示した。

結 果

当研究の目的は、この人工歯が板状形態の食片破碎時のみならず種々の食片破碎時にも同様の特性を発揮し得るか否かを確認することにある。一方、徳丸 (1999)³²⁾ は板状試験食片破碎時の研究結果から、緩圧性を有する人工歯の最も良好と考えられる支台歯の動きは軟性材を人工歯基底面に 1.5 mm の厚さで用いた E3 においてみられたと報告していることから、E1, E2 および R1, R2 におけるデザインの結果は、参考資料および最小限度の報告に止め、弾性を有する人工歯の特性が最もよく発現されたと考えられると報告されている E3 を主体として、そのデザインの各種形状食片破碎時における支台歯の挙動と軟性材を全く使用していない通常のパーシャルデン

チャー (Ct) および E3 に対応する厚さの軟性材を床粘膜面に使用した義歯 R3 の支台歯の挙動を比較した。

I. 各種デザイン義歯支台における変位の比較

どのような形態の食片破碎時においても、如何なる咀嚼時の咬合接触状態においても支台歯の変位振幅量が小さいデザインであることが好ましい。したがって、概略的にデザインの良否はそれぞれの変位領域で比較できるのではないかと考える。

この考えに基づいて、全ての食片形態 a~f 咀嚼時の支台歯の挙動を、変位領域からみたものが Fig. 5-1~Fig. 5-4 である。

A. 傾斜について。

支台歯にとって、最も為害性が強いとされている傾斜を各荷重下、全食片形態において示したものが Fig. 5-1 である。

3 kg 荷重下においては、E3 と Ct, および E3 と R3 間には非常に高度の有意差 ($p < 0.001$) が認められ、Ct では食片形態によって傾斜量に大きな差異がみられた。3 kg 荷重時の破碎食片全体では E3 の傾斜が最小で、最も大きな傾斜を示したものは R3 であった。R3 の傾斜量は Ct と比べても有意 ($p < 0.01$) に大きかったが、食片の形状による変位差は最も小さかった。

5 kg 荷重時および 7 kg 荷重時下においては、E3 と Ct 間には有意差はみられず、Ct と R3, E3 と R3 間のみそれぞれ非常に高度の有意差が認められ、R3 の傾斜量が最も大きかった。Ct と E3 間にはほとんど差異はなく、5 kg 荷重時にはわずかに後者の方が小さく、7 kg 荷重時には逆に後者の方が大きくなる傾向がみられた。

これを 3-5 kg 荷重時までの変位量でみると、E3 と Ct 間にも有意差 ($p < 0.05$) がみられ E3 の方が小さかった。しかし、3-7 kg の全体的な荷重でみると、E3 と R3, Ct と R3 間には非常に高度の有意差が認められたものの E3 と Ct 間には有意差は認められなかった。つまり比較的大きな荷重下では E3 と Ct の両者間にほとんど差異は認められなかったが、負荷がかかりはじめる加重当初の状態では E3 の方が Ct よりも傾斜量は有意 ($p < 0.05$) に小さかった。

B. 捻転について。

Fig. 5-2 にみられるように、3 kg 荷重下における捻転量は、E3 が最も小さく、順に Ct, R3 と大きかった。

E3 と R3 間では有意に前者が小さく ($p < 0.001$)、E3 と Ct, Ct と R3 間では有意 ($p < 0.01$) にそれぞれ前者の方が小さかった。

5 kg 荷重時には、E3 と Ct 間に 5 %, Ct と R3

および E3 と R3 間では 0.1 % の危険率でそれぞれ前者が小さかったが、7 kg 荷重時の E3 と Ct 間には有意差はみられず、E3 と R3, Ct と R3 間には非常に高度の有意差をもってそれぞれ前者の方が小さかった。

3 kg から 7 kg 荷重時までの変位量では、E3 と Ct, Ct と R3 間では危険率 1 % で E3 および Ct の方が小さく、E3 と R3 間では危険率 0.1 % で有意差があり、全荷重下の捻転量においても E3 が最も小さかった。

C. 沈下について。

E3 では食片形態にほとんど影響されずほぼ一定の沈下量を示したのに対して、Ct では食片の形状により大きく変動した。また R3 の場合も食片形状によりかなり差異はみられたが、Ct ほどの大きな変動は認められなかった (Fig. 5-3)。つまり 3, 5, 7 kg の各荷重下の E3 と Ct, E3 と R3, および R3 と Ct 間では、有意にそれぞれ前者の方が小さかったが、3-5 kg, 3-7 kg の変位量においても、同じくそれらの間には危険率 0.1 % から 0.01 % で有意差が認められ、それぞれ前者の方が小さかった。

D. 歯体移動について。

各荷重下における歯体移動量を Fig. 5-4 に示す。

3 kg 荷重下では、Ct と E3 間には Ct が食片形態により著明に変動していることもあって、一見 Ct は E3 よりも大きいように見えるが、有意差は認められなかった。しかし Ct と R3, E3 と R3 間では危険率 0.01 % で有意に R3 に大きな変位量がみられた。

また 5 kg 荷重時および 7 kg 荷重時においても最大変位を示したものは R3 であったが、E3 と Ct では有意 ($p < 0.01$) に Ct の方が小さかった。

これを 3-5 kg 荷重時までの変位量でみると、E3 と Ct 間には有意差はみられなかったが、3-7 kg の全荷重でみると、R3 と E3, R3 と Ct 間にも ($p < 0.001$)、また E3 と Ct 間にも有意差 ($p < 0.05$) が認められ、それぞれ前者の歯体移動量が大きかった。つまり傾斜の場合とは逆に負荷がかかりはじめる加重当初では E3 と Ct の両者間にほとんど差異は認められなかったが、荷重量の増加に伴って E3 の方が Ct よりも有意 ($p < 0.05$) に大きな歯体移動量を示すようになった。

II. 食片形状による変位特性

形状の異なる各種食片破碎時の支台歯の変位の動向を荷重量の増加によって示したものが Fig. 6 である。

人工歯咬合面全域を均一に被覆する食片 a において Ct では、傾斜、捻転、沈下および歯体移動とも荷重量の増加に伴って漸次増大する傾向がみられたが、他の食片

Fig. 5-1 Inclination of the abutment tooth ($\overline{4}$) when crushing various shaped test food (Load: 3, 5, and 7 kg in turn from above).

Fig. 5-2 Twist like movement of the abutment tooth ($\overline{4}$) when crushing various shaped test food (Load: 3, 5, and 7 kg in turn from above).

Fig. 5-3 Depression of the abutment tooth ($\overline{4}$) when crushing various shaped test food (Load: 3, 5, and 7 kg in turn from above).

Fig. 5-4 Parallel movement of the abutment tooth ($\overline{4}$) when crushing various shaped test food (Load: 3, 5, and 7 kg in turn from above).

Fig. 6 Displacement characteristics of the abutment tooth by food shape.

Fig. 7 Buccolingual displacement of the denture plate (Load: 3, 5, and 7 kg in turn from above).

形状の場合に比べて増大の割合は非常に小さかった。E3においてはさらに小さく、かつ歯体移動では却って減少する傾向がみられた。しかしR3では荷重量の増加に伴って大きく増大し、とくに歯体移動の増大が顕著であった。

支台歯に最も近接する人工歯咬合面を被覆する食片bおよびCtにおける食片fにおいては、他の食片破碎時とは異なった特異な支台歯の動きがみられた。食片bでは、軟性材を使用しているE3およびR3では、いずれも大きな歯体移動が観察されたが、前者では荷重量の増加に伴い歯体移動も大きく増大したが、後者ではある時点から急激に減少する傾向がみられた。それらに対して軟性材を用いていないCtでは、荷重量の増加に伴い歯体移動も傾斜とともに大きく減少した。また前二者の沈下は比較的小さかったのに対してCtでは沈下が最も大きく発現した。さらにCtにおける食片fでは、荷重量の増加に伴って傾斜量は逆に減少する現象が観察された。

以上の食片a, bおよびfの一部では、他の食片破碎時とは幾分異なった挙動も観察されたが、支台歯の各種変位様式中全般的に歯体移動が最も顕著に現れる傾向があり、次いでR3では傾斜、沈下、捻転の順に大きな変位が認められた。それに比べてE3の支台歯の動きはCtに類似しており、ほぼ同程度の沈下と傾斜がみられた。

Ⅲ. 義歯床の動き

支台歯の変位量は小さくても義歯床の動きが大きければ機能的な義歯とは言えない。

義歯床の動きをE1, E2, およびR1, R2を含めた各デザイン別に検討したものがFig. 7である。なお食片形態では人工歯咬合面全域被覆のa, 頬側咬頭被覆のe, 舌側咬頭被覆のfの三種類で比較した。

Ct, E1, E3, R1 および R2 では、食片形態による義歯床の動きの違いはほとんど認められず、E2 と R3 のみに差異がみられた。R3 では、頬側で咬合した際の義歯床の動きが最大で、舌側咬合時のそれが最も小さかった。

また本論文で着目してきたE3とR3ならびにCtをみると、各荷重量においてE3は最も小さくなる傾向を示した。またR3は著明に大きな義歯床の頬舌的な動きが観察され、Ctとの間($p < 0.05$)にも、またE3との間($p < 0.01$)にも有意差がみられた。

考 察

Ⅰ. 歯根膜の解剖学的特徴と緩圧性を有する人工歯について

生体には多くの緩衝機構が存在しているが、歯根膜も

関節円板や長骨骨端部海綿層ならびに咬筋斜走線維などにみられる緩衝機構の一つで、歯槽頂線維、水平線維、斜走線維および根尖線維からなるコラーゲン線維束である。しかしながら、これらの線維によって、歯槽窩に歯は懸垂されているにも関わらず生体の他の緩衝部位に比べてかなり頻繁に歯周組織には咬合性外傷が発生するように思われる。

咬合性外傷は、現在では広義に解釈され、外力によって生じた咀嚼系全体の損傷を意味しているが、本来は咬合力によって歯根膜に生理的許容範囲を越えた圧迫や牽引が生じ、それによって圧迫側歯根膜の変性や壊死、歯槽骨の吸収ならびに歯根の吸収、さらには牽引側での歯根膜線維の切断やセメント質の剥離が生じる限局性病変であると定義づけられている。この定義、病因からも明らかなように、歯根膜に加わる不適切な圧迫と牽引がこの病変を惹起するもとになっており、ユニラテラル (unilateral) な力や支台歯を揺さぶるような力 (jiggling force), つまり比較的限局した歯根膜領域を圧搾、牽引するような外力である傾斜および捻転がそれに当たるとであろう。しかしこれらの力が健康な歯に加わったとしても直ちにポケットの形成や付着結合識の喪失を来すことはないが、一種の生体防御機構として歯の動揺度が増大し、その結果、歯槽骨の吸収が生じるとLindhe (1989)⁵⁰⁾ は述べ、プラークを伴った歯周疾患を有する歯においては咬合性外傷はある条件下でその疾患の増悪の度合いをさらに強めると数多くの動物実験症例等⁵²⁻⁷⁷⁾ から結論づけている。

パーシャルデンチャー、とくに遊離端症例においては、咬合により水平面における回転 (Yawing), 前頭面における回転 (Rolling), 矢状面における回転 (Pitching) が起こり、歯根膜と床下粘膜の被圧縮度の差異と相俟って、支台歯にはその都度大きな傾斜や捻転が生じて、歯とくに支台歯の動揺は増大するようになる。

このようにして義歯を装着することにより残存歯が次々と脱落することから、欠損歯の補綴よりも残存歯の保護を一義的に考える処置方法が提唱されたり (DeVan, 1934)⁷⁸⁾、義歯を辺縁歯肉から可及的に離開させる設計法が発表されたり (Öwall, 1974)⁷⁹⁾、咬合力が加わった場合、義歯床自体が顎堤粘膜と平行に沈下して歯根膜・床下粘膜比を減少させたり (Krol, 1974)⁸⁰⁾、あるいはプロキシマルプレートと近心レストを用いて支台歯を歯軸方向へ垂直的に沈下する方法 (Kratochvil, 1979)⁸¹⁾ 等々の工夫がなされてきた。

人工歯自体が弾性を有する義歯もこの一環として考案

されたものである。この人工歯を有する義歯支台の挙動を通常の義歯および床粘膜面に軟性裏装材をリラインした義歯支台と比較して、徳丸 (1999)³²⁾ は食片破碎時、この人工歯を用いた義歯では、義歯床の動きも少なく、かつ歯周組織に最も為害性を与えると考えられている傾斜を上記の三つのデザイン義歯支台の中で最も抑止し得たと報告している。

この人工歯の特徴としては、軟性材料による衝撃緩和の他に個々の人工歯がそれぞれ自由な方向に、その部位の咬合力に応じて異なった変位量を示すことが考えられるため、それを実証するには、単に板状形態の食片だけでなく、様々な形状の食片においてもその優位性を確認する必要がある。

本研究はこれを明らかにする目的で企画され、その結果、シミュレーションという制約はあるが、かなり良好な人工歯であるように思われたので、次に得られた結果について検証する。

II. 義歯床の動き

この弾性を有する人工歯の臨床応用例は既に鶴島ら (1960)³²⁾ によって報告されており、概ね良好との感触が得られている。しかし、軟性材の耐久性に問題があるため、長期間の経過報告はなく、支台歯への為害性等については触れられていない。したがって、ここで得られた概ね良好との感触は、患者サイドからみた義歯床の変位の少ないことが大きな理由のひとつであることが考えられる。

Fig. 7 にみられるように、代表的な食片形状 a, f, e 破碎時の義歯床は、E3 では同じ軟性材を床粘膜面に使用した R3 と比べても、さらに Ct と比較しても小さな変位しか示さなかった。また E3 の場合、他のデザインに比べて義歯床の変位が最も小さかったのに加え、食片形態による影響も最も小さかった特徴から、個々の人工歯に咬合力が局在的に加わっても、それぞれの人工歯が、十分とは言えないけれどもかなり効果的に単独に別々の方向に傾斜、変位して、咬合力を吸収し義歯床への直接的伝達を緩和していることが考えられ、前記の当人工歯の理論的な特徴の一端が裏付けられているように思われる。

III. 食片形態による支台歯の変位特性

Fig. 6 は、形状の異なる各種食片破碎時、つまり咬合接触状態の違いによる支台歯の動向を調べたものである。

一般的なクラスプデザインの遊離端義歯においては、レストが支点となって支台歯を遠心方向へ牽引、傾斜さ

せ歯周組織に為害性を与えると考えられている。従って、臨床においては、対合歯の挺出が起こらない処置が施されている場合には、症例によって支台歯に近接する人工歯を緊密に咬合させ、それ以後の人工臼歯においては漸次緩慢な咬合接触点を与えて最後臼歯では薄いカーボン紙が引き抜ける程度の接触点にする方法が採られる。これは支点より離れた部位では、小さな咬合力で大きな支台歯牽引作用を惹起すると考えられるため、いわば咬合の中心を残存歯および支台歯に近接する人工歯におくことにより、この原理による上記の弊害を防止しようとする考えに基づいている。また総義歯に限らず局部義歯においても人工歯は歯槽頂間線法則にしたがって排列されるが、これは咬合咀嚼時に義歯床の転覆を防止し、局部義歯においてはその際発現する側方力から支台歯への影響を最小限にするために必要な処置と考えられている。リンガーライドズオクルージョンもこの考え方の延長上にあり、人工歯の排列位置を換えずに義歯転覆を抑制し、ひいては支台歯への為害性を最小限にする方法として有効な方法であると考えられている。

しかしながら本研究では、食片 f がリンガーライズド的な咬合接触状態、食片 b がこの原理から最も支台歯に対する負担が少ない咬合接触状態と考えられるため、これらに注目して為害性の最も強いとされる傾斜や捻転をみると、Ct においても、E3, R3 においても食片 e 破碎時の支台歯の動きが食片 f 破碎時のそれに比べてとくに小さくなっているとは考えられない。また、食片 b においても他の食片に比べてとくに小さくなっているとは思われない。

つまり、本結果のみから到底断言することはできないが、リンガーライズドにすることや固定性義歯および可撤性義歯に日常臨床で行われている咬合調整法等について良好との明確な証左はなく、これらの臨床的手法を推進するためには今後さらに基礎的な裏付けが必要であるように思われる。

IV. 各種デザイン義歯支台における変位の比較

機能時の義歯床の変位が少なく、かつ支台歯の動き、とくに傾斜や捻転など、歯周組織を局在的に圧搾、牽引する動きの少ないことが望ましい。

Fig. 5 は、各デザインにおける変位量を面積として表示したものであり、必ずしも適切とは言えないが視覚的に判断し易く、少なくとも概観することは可能であろう。

他のデザインと比較して、E3 における支台歯の傾斜の小さい点、初期荷重ともいえる 3~5 kg 荷重下での捻

転の小さい点, また沈下の小さい点など, この緩圧性を有する人工歯がショックアブソーバーとしてかなり有効に機能しているように思われる。

しかしながら, この E3 においても比較的大きな荷重に対しては, Ct 同様の大きな傾斜や捻転量を示した。この原因については本研究では明らかにし得なかったが, 軟性材の物性, 厚さおよび軟性材が充填されている人工歯基底部の形態などが関与し, 比較的小さな荷重下では軟性材の弾性的な特質が発揮され得ても, 大きな荷重下ではその弾性的特質を発揮し得なくなっているかことが考えられる。軟性材にその特質がなくなった状態では, 当然, この人工歯のショックアブソーバーとしての作用もなくなり, 通常的人工歯を有する Ct 同様, 支台歯の挙動も類似する動きを示すことになったのであろう。

また R3 には他の変位様式にはない大きな歯体移動があった。徳丸 (1999)³²⁾ も R-タイプの義歯支台における動きの特徴として非常に大きな歯体移動を挙げているが, 比較的大きな荷重下では, E3 にも R3 ほどではなかったものの Ct のそれよりは大きな動きが支台歯にみられた。

総義歯床粘膜面に軟性材をリラインすると, ときに咬み応えがないとか, 義歯が躍ると訴える患者がいるが, 床粘膜面にリラインした場合には, 軟性材の弾性的特質により局部義歯においても大きな歯体移動として発現するのではないかと考えられる。また同一材料を人工歯基底面に使用した場合においても, 等速荷重が加えられ軟性材が圧搾されていく状態で, 咬合力に不均衡が生じた場合, 咬合力の弱い方向へ圧迫された軟性材の弾性反発力が生じ, その結果, 上記の傾斜や捻転の場合とは逆に比較的小さな荷重下では E3 と Ct との間に有意差はみられなかったが, 荷重量が増加するにしたがって支台歯を側方へ変位させる動き, つまり Ct よりも有意に大きな歯体移動が起こったものと考えられる。

いずれにしても, 軟性材を義歯床粘膜面に使用することは局部義歯では歯体移動量を増大させる傾向が現れやすくなるように思われる。

良好なデザインとしては, 各種食片破碎時に支台歯の変位に差異が少なく, かつ変位量自体も最少なものが望ましい。次いで食片形状により差異はあっても全体的に小さい変位量を示すものがそれに続いて望ましく, 例え食片形状による変位量差は小さくても大きな変位量であったり, 変位量差も大きくかつ大きな変位量を示すものは可及的に避けるべきであろうと思われる。

人工歯基底面に軟性材を使用した義歯では, 傾斜をは

じめ支台歯の挙動の多くで上記の規定を概ね満たし, 良好な結果は得られたが, 荷重量が増加した時点での支台歯の挙動に問題があるなど現段階ではまだ不十分な材料であると言わざるを得ない。徳丸も記しているように, この人工歯を製品化していく過程においては軟性材料自体の改良とともに, 基底面の形態およびその形態に合わせた使用上の工夫が必要であろうと思われる。

結 論

前回, 徳丸³²⁾が当人工歯の裏装軟性材の適切な厚さについて検討したのに対して, 本研究は種々の形状をもつ食片破碎時にも果たして同様の特性を発揮できるかを支台歯の挙動から追跡調査したものである。

模型には, 第一小臼歯, 第一ならびに第二大臼歯欠損の Kennedy II 級を用い, 軟性材を全く使用していない通常義歯をコントロール (Ct) として, 徳丸³²⁾が適切な厚さとした当人工歯応用義歯支台 (E3), それと同一厚さの軟性材を床粘膜面に使用した義歯支台 (R3), それぞれの動きを高精度半導体レーザ変位計を用いて解析し, 比較, 検討した。

得られた結果は以下の通りである。

1. 各種デザイン義歯支台における変位の比較

1) 食片破碎時の支台歯の傾斜は, R3 が Ct, E3 よりも有意 ($p < 0.001$) に大きかった。E3 と Ct 間では荷重量の増加に伴って両者間に差異はなくなったが, 負荷当初では, E3 の傾斜が Ct よりも有意 ($p < 0.05$) に小さかった。

2) 捻転量においても E3 が最小で, Ct, R3 の順に大きかった。

3) E3 では食片形態にほとんど影響されずほぼ一定の沈下量を示したのに対して, Ct では食片の形状により大きく変動した。また E3 のそれが最小で, Ct には最も大きな沈下量が観察された。

4) 歯体移動量は, R3 が最も大きかった。しかし E3 と Ct では, 傾斜の場合とは逆に負荷当初は両者間に差異は認められなかったが, 荷重量の増加に伴って E3 の方が Ct よりも有意 ($p < 0.05$) に大きな歯体移動量を示すようになった。

2. 食片形状による変位特性

食片の形状により, 支台歯の挙動にはかなり大きな差異が認められた。とくに支台歯に近接する人工歯咬合面を被覆する食片 b では, 大きな傾斜や沈下を惹起する場合があります。临床上採られている咬合調整法に対する再検討の必要性が示唆された。

3. 義歯床の動きは, R3 が E3 および Ct に比べてそれぞれ有意 ($p < 0.01$, $p < 0.05$) に大きかった。しかし E3 と Ct 間には有意差はなかったが, E3 の方が最も小さくなる傾向は認められた。

以上の結果より, 緩圧性を有する当人工歯はまだ問題はあるが, 形態的には同じでありながら義歯床の動きをコントロールのそれよりも小さく抑制できた点や義歯支台の傾斜および捻転も小さく抑え得た点等から将来性のある優れた義歯構成要素の一つになり得ることが判明した。

稿を終えるにあたり, 終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜りました恩師守川雅男教授に対し深甚なる謝意を捧げます。また, 本研究に際して種々ご協力戴きました歯科補綴学第1講座の諸先生方に厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) Ante の法則. 歯科医学大事典, 医歯薬出版, 東京, 1989, 105-106.
- 2) 山下 敦: 咬合を考える. 歯界展望別冊: 211-222, 1973.
- 3) Dymont, M. L. and Synge, J. L.: The elasticity of periodontal membrane. *Oral Health* 25: 105-109, 1935.
- 4) Coolidge, E. D.: The thickness of the human periodontal membrane. *J. Amer. Dent. Assoc.* 24: 1260-1270, 1937.
- 5) 黒川博行: 成人歯根膜の厚さと線維の走行方向. *日組録* 1: 227-230, 1950.
- 6) 岸 正孝: 歯槽堤粘膜の被圧変位性に関する加圧面の面積と変位量との関係についての実験的研究. *歯科学報* 72: 1043-1071, 1972.
- 7) Boucher, C. O.: Studies of displacement of tissues under dentures. *J. Am. Dent. Assoc.* 27: 1476-1478, 1940.
- 8) Giglio, J. J., Lase, W. P. and Arden, H.: Factors affecting retention and stability of complete dentures. *J. Prosthet. Dent.* 12: 848-856, 1962.
- 9) Holmes, J. B.: Influence of impression procedures and occlusal loading on partial denture movement. *J. Prosthet. Dent.* 15: 474-481, 1965.
- 10) Lytle, R. B.: The management of abused oral tissues in complete denture construction. *J. Prosthet. Dent.* 7: 27-42, 1957.
- 11) Lytle, R. B.: Complete denture construction based on a study of the deformation of the underlying soft tissues. *J. Prosthet. Dent.* 9: 539-551, 1959.
- 12) Lytle, R. B.: Soft tissue displacement beneath removable partial and complete dentures. *J. Prosthet. Dent.* 12: 34-43, 1962.
- 13) Supplee, S. G.: Border pressure and its relation to impression making. *Dent. Dig.* 29: 307-310, 1923.
- 14) 大島健嗣: 顎粘膜の被圧縮の荷重と圧縮量の新開発の測定装置. *補綴誌* 10: 51-56, 1966.
- 15) 後藤建機: 歯牙の生理的動揺に関する実験的研究. *歯科学報* 71: 1415-1444, 1971.
- 16) 森田修巳, 旗手 敏: Over denture の連結機構による咬合と歯根膜の反射機序について. *日歯評論* 405: 45-59, 1976.
- 17) Rehm, H., Körber, E. und Körber, H. H.: Biophysikalischer Beitrag zur Problematik starr abgestutzter Freidend Prothesen. *Dtsch. Zahnärztl. Z.* 17: 963-974, 1962.
- 18) 宮下恒太: 顎粘膜の局所被圧変位度と咬合力による義歯床の沈下度とに関する研究. *歯科学報* 70: 38-68, 1970.
- 19) 守川雅男: 遊離端義歯の最後臼歯に加わる力が各維持装置に及ぼす影響に関する基礎的研究. *九州歯会誌* 27: 705-719, 1974.
- 20) 森山茂美: パーシャルデンチャーが鉤歯の挙動におよぼす影響. *九州歯会誌* 43: 853-875, 1989.
- 21) 竹屋克昭: コーヌスクローネ支台歯の挙動に関する3次元解析—遊離端義歯のデザインの相違による影響—, *九州歯会誌* 48: 95-117, 1994.
- 22) 千草隆治: コーヌスクローネ支台歯の挙動に関する基礎的研究—支台歯の咬合力負担形態の違いによる影響—, *九州歯会誌* 48: 531-553, 1994.
- 23) 古閑 望: 片側遊離端義歯においてクラスプのデザインが支台歯の挙動に及ぼす影響. *九州歯会誌* 50: 532-548, 1996.
- 24) 韓 棟偉: パーシャルデンチャー維持装置の違いによる支台歯の挙動に関する実験的研究. *九州歯会誌* 50: 757-778, 1996.
- 25) 高尾敏一: 少数歯欠損片側遊離端症例におけるコーヌスクローネ支台の挙動に関する基礎的研究. *九州歯会誌* 50: 833-852, 1996.
- 26) 城下 功: 両側性遊離端症例において維持装置のデザインの違いが支台歯の挙動に及ぼす影響—単独腕鉤による作業側・非作業側支台の比較—, *九州歯会誌* 51: 114-132, 1997.
- 27) 川上英俊: 両側性遊離端症例において維持装置のデザインの違いが支台歯の挙動に及ぼす影響—連結腕鉤による作業側・非作業側支台の比較—, *九州歯会誌* 51: 462-487, 1997.
- 28) 桃田健治: 両側性遊離端症例において維持装置のデザインの違いが支台歯の挙動に及ぼす影響—コーヌス冠と鉤による作業側・非作業側支台の比較—, *九州歯会誌* 51: 675-698, 1997.
- 29) 糸瀬秀成: 正常な骨支持を想定した片持ちバリ固定性義歯支台の変位分析. *九州歯会誌* 52: 331-355, 1998.
- 30) 古賀聖規: 片側性二重冠遊離端義歯支台の変位分析—片持ちバリ固定性義歯支台との比較—, *九州歯会誌* 52: 405-428, 1998.
- 31) 今村義治: 支台歯の挙動解析のための3次元6自由度計測装置の開発. *九州歯会誌* 53: 111-126, 1999.

- 32) 徳丸哲也: 緩圧性を有する人工歯応用義歯支台の変位分析—軟性裏装材応用義歯支台と比較して—. 九州歯会誌 53: 380-398, 1999.
- 33) Craig, R. G., and Peyton, F. A.: Measurement of strains in fixed bridges with electronic strain gauges. *J. Dent. Res.* 46: 615-619, 1967.
- 34) 岡田京子: 局部義歯の設計と支台歯周組織の咬合圧負担状態の関係についての実験的研究. 歯科学報 71: 1712-1775, 1971.
- 35) 長久保文夫: 局部義歯の設計が支台歯周組織の咬合圧負担状態におよぼす影響に関する三次元的 Simulator による実験的研究. 歯科学報 72: 1690-1723, 1972.
- 36) Kuske, A., and Rorverson, G.: Photoelastic stress analysis. J. W. Wiley, New York., 1974, 28-239.
- 37) Mehta, N. R., Roeber, F. W., Haddad, A. W., Glickman, I., and Goodman, J. B.: Stresses created by occlusal prematurities in a new photoelastic model system. *J. Am. Dent. Assoc.* 93: 334, 1976.
- 38) Hayashi, R. K., Chaconas, S. J., and Caputo, A. A.: Effects of force direction on supporting bone during tooth movements. *J. Am. Dent. Assoc.* 90: 1012, 1976.
- 39) El-Ebrashi, M. K., Robert, G., Craig, R. G., and Peyton, F. A.: Experimental stress analysis of dental restorations. Part VII. Structural design and stress analysis of fixed partial dentures. *J. Prosthet. Dent.* 23: 177-186, 1970.
- 40) Tylman, S. D.: Relationship of structural design of dental bridges to their supporting tissues. *Int. Dent. J.* 13: 303-317, 1963.
- 41) Craig, R. G., El-Ebrashi, M. K., LePeak, P. J. and Peyton, F. A.: Experimental stress analysis of dental restorations. Part I. Two-dimensional photoelastic stress analysis of inlays. *J. Prosthet. Dent.* 17: 277-291, 1967.
- 42) White, S. N., BDentSc, MS. MA., Caputo, A. A., and Anderkvist, T.: Effect of cantilever length on stress transfer by implant-supported prostheses. *J. Prosthet. Dent.* 71: 493-499, 1994.
- 43) Mahler, D. B., and Peyton, F. A.: Photoelasticity as a research technique for analysing stress in dental structures. *J. Dent. Res.* 34: 831-838, 1955.
- 44) Noonan, M. A.: The use of photoelasticity in a study of cavity preparations. *J. Dent. Child.* 16: 24-28, 1949.
- 45) Dolan, T. J., and Murray, W. M.: Handbook of experimental stress analysis, Photoelasticity: Fundamentals and two-dimensional applications. John Wiley & Sons, New York, 1959, 829-921.
- 46) Jessop, H. T. and Harris, F. C.: Photoelasticity: Principles and methods. Dover Publications, New York, 1960, 120-123.
- 47) Sutherland, J. K., Holland, G. A., Sluder, T. B., and White, J. T.: A photoelastic analysis of the stress distribution in bone supporting fixed partial dentures of rigid and nonrigid design. *J. Prosthet. Dent.* 44: 616-623, 1980.
- 48) Craig, R. G., and Peyton, F. A.: Measurement of stresses in fixed-bridge restorations use in a brittle coating technique. *J. Dent. Res.* 44: 756-762, 1965.
- 49) Deforest, A. V., Ellis, G., and Stern, F. B., Jr.: Brittle coating for quantitative strain measurements. *J. Appl. Mech.* 64: 184-188, 1942.
- 50) Ko, C. C., Chu, C. S., Chung, K. H., and Lee, M. C.: Effects of posts on dentin stress distribution in pulpless teeth. *J. Prosthet. Dent.* 68: 421-427, 1992.
- 51) Lindhe, J.: Textbook of clinical periodontology. 2nd ed. Munksgaard, Copenhagen, 1989, 240-257.
- 52) Box, H. K.: Experimental traumatogenic occlusion in sheep. *Oral Health* 25: 9-25, 1935.
- 53) Stone, H. H.: An experimental investigation into the association of traumatic occlusion with periodontal disease. *Proceedings of the Royal Society of Medicine* 31: 479-495, 1938.
- 54) Macapanpan, L. C. and Weinmann, J. P.: The influence of injury to the periodontal membrane on the spread of gingival inflammation. *J. Dent. Res.* 33: 263-272, 1954.
- 55) Wentz, F. M., Jarabak, J. and Orban, B.: Experimental occlusal trauma imitating cuspal interferences. *J. Periodontol.* 29: 117-127, 1958.
- 56) Posselt, U. and Emslie, R. D.: Occlusal disharmonies and their effect on periodontal diseases. *Int. Dent. J.* 9: 367-381, 1959.
- 57) Lovdahl, A., Schei, O., Waerhaug, J. and Arno, A.: Tooth mobility and alveolar bone resorption as a function of occlusal stress and oral hygiene. *Acta Odontol. Scand.* 17: 61-77, 1959.
- 58) Mühlemann, H. R. and Herzog, H.: Tooth mobility and microscopic tissue changes reproduced by experimental occlusal trauma. *Helvetica Odontologia Acta* 5: 33-39, 1961.
- 59) Belting, C. M. and Gupta, O. P.: The influence of psychiatric disturbances on the severity of periodontal disease. *J. Periodontol.* 32: 219-226, 1961.
- 60) Ewen, S. J. and Stahl, S. S.: The response of the periodontium to chronic gingival irritation and long-term tilting forces in adult dogs. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 15: 1426-1433, 1962.
- 61) Glickman, I. and Smulow, J. B.: Alterations in the pathway of gingival inflammation into the underlying tissues induced by excessive occlusal forces. *J. Periodontol.* 33: 7-13, 1962.
- 62) Baer, P., Kakehashi, S., Littleton, N. W., White, C. L. and Liebeman, J. E.: Alveolar bone loss and occlusal wear. *Periodontics* 1: 91, 1963.
- 63) Glickman, I.: Clinical significance of trauma from occlusion. *J. Am. Dent. Assoc.* 70: 607-618, 1965.

- 64) Glickman, I. and Smulow, J. B.: Effect of excessive occlusal forces upon the pathway of gingival inflammation in humans. *J. Periodontol.* 36: 141-147, 1965.
- 65) Waerhaug, J. and Hansen, E. R.: Periodontal changes incident to prolonged occlusal overload in monkeys. *Acta Odontol. Scand.* 24: 91-105, 1966.
- 66) Glickman, I.: Occlusion and periodontium. *J. Dent. Res.* 46: (Suppl. 1): 53, 1967.
- 67) Glickman, I. and Smulow, J. B.: Adaptive alteration in the periodontium of the Rhesus monkey in chronic trauma from occlusion. *J. Periodontol.* 39: 101-105, 1968.
- 68) Svanberg, G. and Lindhe, J.: Experimental tooth hypermobility in the dog. A methodological study. *Odontologisk Revy.* 24: 269-282, 1973.
- 69) Lindhe, J. and Svanberg, G.: Influences of trauma from occlusion on progression of experimental periodontitis in the Beagle dog. *J. Clin. Periodontol.* 1: 3-14, 1974.
- 70) Manson, J. D.: Bone morphology and bone loss in periodontal disease. *J. Clin. Periodontol.* 3: 14-22, 1976.
- 71) Ericsson, I. and Lindhe, J.: Lack of effect of trauma from occlusion on the recurrence of experimental periodontitis. *J. Clin. Periodontol.* 4: 115-127, 1977.
- 72) Nyman, S., Lindhe, J. and Ericsson, I.: The effect of progressive tooth mobility on destructive periodontitis in the dog. *J. Clin. Periodontol.* 7: 351-360, 1978.
- 73) Waerhaug, J. The infrabony pocket and its relationship to trauma from occlusion and subgingival plaque. *J. Periodontol.* 50: 355-365, 1979.
- 74) Steiner, G. G., Pearson, J. K. and Ainamo, J.: Changes of the marginal periodontium as a result of labial tooth movement in monkeys. *J. Periodontol.* 56: 314-320, 1981.
- 75) Ericsson, I. and Lindhe, J.: The effect of long-standing jiggling on experimental marginal periodontitis in the Beagle dog. *J. Clin. Periodontol.* 9: 497-503, 1982.
- 76) Lindhe, J. and Ericsson, I.: The effect of elimination jiggling forces on periodontally exposed teeth in the dog. *J. Periodontol.* 53: 562-567, 1982.
- 77) Wennström, J., Lindhe, J., Shnclair, F. and Thilander, B.: Some periodontal tissue resections to orthodontic tooth movement in monkeys. *J. Clin. Periodontol.* 14: 121-129, 1987.
- 78) DeVan, M. M.: The prosthetic problem - its formulation and suggestions for its solution. *J. Prosthet. Dent.* 6: 291-301, 1956.
- 79) Öwall, B.: Design of removable partial dentures and dental technician education. *Swed. Dent. J.* 67: 21-32, 1974.
- 80) Krol, A. J.: Clasp design for extension- base removable partial dentures. *J. Prosthet. Dent.* 29: 408-415, 1973.
- 81) Kratochvil, F. J. and Caputo, A. A.: Photoelastic analysis of pressure on teeth and bone supporting removable partial dentures. *J. Prosthet. Dent.* 32: 52-61, 1972.
- 82) 鶴島亀岩, 豊田静夫, 吉永恒雄, 増井久衛, 中原 敏, 浦田保武: 所謂弾性歯の製作法とその局部義歯への応用例, *九州歯会誌* 14: 316-319, 1960.