原 著 論 文

構造設計と支台装置の相違が義歯の破折強度に及ぼす影響

大久保力廣 中山 昇 鈴木 恭典
青木 孝幸 栗原 大介 花谷 重守
阿部 實 宮田 孝義 尾花 甚一

The Influence of Structural Designs and Retainer Designs on the Fracture Resistance of Removable Partial Denture

Chikahiro Ohkubo, Noboru Nakayama, Yasunori Suzuki,
Takayuki Aoki, Daisuke Kurihara, Shigeru Hanatani,
Minoru Abe, Takayoshi Miyata and Jin-ichi Obana

Abstract : The retainer with a framework is an important device for excellent function of the removable partial denture. However, prosthetic appliance fracture primarily occurs at the terminal abutment-cantilever junction.

In this study, combinations of five structural designs (double structure consisting of six columns, or four columns, T-shapes, trusses and rectangular columns) and three retainer designs (full coverage, 4/5 coverage and mesiodistal rest) were subjected to the statical bending test. The fracture resistance of these frameworks were evaluated to measure maximum stiffness, yield load and strain of the retainer.

The obtained results were as follows :

1. Maximum stiffness of the double structure consisting of six columns, trusses and T-shapes was approximately 10 times greater than that of rectangular columns.
2. Ultimate strength of double structure consisting of six columns was the greatest, followed by that of four columns, trusses and T-shapes.
3. Fracture resistance of full coverage and 4/5 coverage was about 4 times greater than that of mesiodistal rest.
4. When 20 kgf load was applied, the strain of the marginal and occlusal regions tended to increase according to the strength of the framework, whereas that of the proximal region decreased.

Key words : structural design, retainer, fracture resistance, double structure, removable partial denture

I. 緒 言

部分床義歯の基本的な強度不足が問われて久しい¹⁾。しかし、一般臨床においては人口の高齢化に伴い義歯耐用年数の大幅な延長が望まれているにもかかわらず、強度向上に関して特筆すべき進展をみていない。

義歯の設計方針は機能的、生理的条件を満たしつつ強度や耐久性を両立させなければならない²⁻⁴⁾。ところが強度に対する義歯設計は、経験を主体とした試行錯誤的方法で実施されており、特に義歯の構造設計法⁵⁾に関しては、ほとんど適用されていないのが現状である。

義歯の構造設計とは構造形式を創造するだけでなく、適切な力のモデル化とその構造を有効に導く部材設計が重要である。特に部分床義歯においては力の支点となる支台装置との強度的な統一化を重要視しなくてはならない。いかにフレームワークの強度や耐久性が優れていても支台装置の強度が劣っていれば義歯全体として応力の集中を招き、破折を誘発することにもつながるからである⁶⁾。

著者らは有床義歯における構造最適設計とも呼べる設計法を検討しており、金属構造義歯をその指標として提唱している。金属構造義歯とは「二重構造フレームワークを主たる骨組とした立体構造を有し、基底面、筋圧面をレジンで製作する義歯」である⁷⁻⁹⁾。

現在まで著者らが行ってきた金属構造義歯に関する研究成果^{5,10-12)}をここで概略整理すると、

1. 義歯に対する構造設計法の導入⁵⁾
2. 理論的計算値の実験的検証⁹⁾
3. 機能時の遊離端義歯の挙動の解明⁵⁾
4. ねじりモーメントに対する有効性の確認¹⁰⁾
5. 機能力負担圧配分の均等化の実証¹¹⁾
6. 各種構造の有する疲労強度の評価¹²⁾
7. 大型義歯の曲げ強度特性の力学的検討⁸⁾

などである。

こうした一連の基礎的研究結果から金属構造義歯の有する優れた強度と耐久性や残存諸組織の保全性を実証するとともに、長期間の臨床応用からも、その有効性を確認している¹³⁾。ところが部分床義歯の構成要素は多く、渋谷ら¹⁴⁾の統計調査によれば破折頻度は鉤、義歯床、人工歯の順で高く、天日ら¹⁵⁾によれば連結部、義歯床、鉤、人工歯の順となっている。このうち

義歯床、人工歯に関してはこれまでの研究成果^{5,8,10,12)}からも多くの示唆が得られており、メタルティースを上部材とした立体的フレームワークを用いることで、高い剛性が得られ、破損を防止することが可能との認識を得ている。しかし、支台装置やその連結部の破折強度に関しては不明な点も多く¹⁶⁾、特に義歯構造との強度的相関について報告したものはみあたらない。

本研究は部分床義歯の強度と剛性の大幅な向上を目的に、いかなる義歯構造と支台装置の設計が義歯の破折強度に対して有効なのかを究明するために企図したものである。静的な応力試験を行い、支台装置のひずみ挙動と試料の破断状態の観察から、義歯構造の最適設計について力学的検討を加えた。

II. 実験材料および方法

1. 実験材料

試験片は各種構造を有するはり状のフレーム部と、その中央部に付与した支台装置により構成される。義歯構造は前報¹²⁾で提示した二重構造 (Type A, B)、T字断面 (Type C)、トラス構造 (Type D)、長方形断面 (Type E) の4種形式とし、二重構造は支柱が6本のもの (Type A) と4本のもの (Type B) の2種を設計した (Fig. 1)。

支台装置はキャップクラスプやコーヌステレスコープを想定した支台歯をすべて被覆する全面被覆型、その唇側面のみを削除した唇側面開放型、近遠心レストと舌側メタルアップを想定した近遠心レスト型の3種の設計を行った (Fig. 2)。

本実験では白土¹⁷⁾の方法を参考に、マージン部直径10.0 mm、高さ6.5 mmの咬合面部の形態が平坦なフラットトップ型の18-8ステンレス鋼製の金型支台を使用した。支台装置製作用金型はこの金型支台と治具装着用金型、試料抽出用金型より構成される。この金型を組合せることにより、支台装置の厚みが咬合面部で1.5 mm、軸面部の上方で0.7 mm、下方で0.5 mm、マージン部はショルダータイプの支台装置が製作できる。

2. 試料の製作

各種構造のフレーム部はアクリル板、ブラキャストバー (石福金属社製 No. S-2) を使用して Fig. 1 に示す寸法にパターンの立体的構築を行った。また支台装置は前述の金型にパターン用レジン (Kulzer 社製

Fig. 1 Schematic drawing of specimen framework designs

試験片フレームワークの模式図

A : Double structure (six columns)

B : Double structure (four columns)

C : T-shapes

D : Trussed structure

E : Rectangular column

Fig. 2 Schematic drawing of retainer designs

支台装置の模式図

Parabit G) を流し込み、製作した。

その後フレーム部と支台装置のパターンを一体化して、通法に従いコバルトクロム合金 (Degussa 社製 Biosil h) により鑄造、製作した。鑄造体には $50\text{ }\mu\text{m}$ Al_2O_3 サンドブラスト処理を行い、完全に埋没材を除去した後、実験に供した。

試料は 5 種の義歯構造と 3 種の支台装置の組合せで、それぞれ 5 個ずつ製作し、試料数は計 75 個である。

3. 測定項目

- 1) 試料の最大剛性
- 2) 試料の降伏点荷重量
- 3) 支台装置のひずみ

4. 測定方法

材料試験機 (上島製作所製 UNITRON UST-F-1000 P) を用いて cross head speed 2.0 mm/min ,

Fig. 3 Static bending test for breaking strength of the frameworks
静的曲げ試験

支持点間距離 32.0 mm で単純曲げ形式による静的曲げ試験を行った。荷重方法は孤立歯を想定し、Fig. 3 に示すように支台装置に金型支台を嵌合させた状態で、荷重ロッドを金型支台に接合し、荷重を負荷し

た。なお本研究では単位変位量あたりの荷重量をもって剛性 (kgf/mm)⁵⁾ とし、試料の 0.2% 永久ひずみ検出点を降伏点荷重量とした。

また全面被覆型、唇側面開放型では支台装置の辺縁部、隣接面部、咬合面部の 3 カ所に、近遠心レスト型では辺縁部、隣接面部の 2 カ所に単軸ストレインゲージ (共和電業社製 KFG-1-C 1) を専用接着剤を用いて貼付した (Fig. 4)。

5. 計測システム

ストレインゲージ、ロードセルからの出力電圧を動ひずみ測定器 (共和電業社製 DPM-613 A) により増幅し、A/D コンバータ (TEAC 社製 PS-9351) で 14 bit デジタル変換を行った。デジタル化したデータをパーソナルコンピュータ (横河 HEWLETT-PACKARD 社製 PS-9000 model 300) に取り込み、演算処理および分析、記録を行った。

III. 結 果

1. 最大剛性

最大剛性は 3 種の支台装置の中で Type A を除いて全面被覆型、唇側面開放型、近遠心レスト型の順で小さくなる傾向を示した。全面被覆型では Type D が

Fig. 4 Gauge positions on the retainer
ストレインゲージの貼付位置

525.23±185.19 kgf/mm と最大で、以下 Type C, A, B の順であり、Type E は約 70 kgf/mm と最小値を示した。また唇側面開放型においては Type A が 581.97±176.97 kgf/mm と最も大きく、以下 Type C, D, B の順であり、Type E は Type A の約 1/15 の低い値であった。平均値の差の検定の結果、Type A, C, D の全面被覆型と唇側面開放型の間に有意差は認められず、Type B に危険率 1%, Type E に 5% で有意差が認められた。

一方、近遠心レスト型は Type A~D とともに約 110 kgf/mm と全面被覆型、唇側面開放型に比較して有意に小さく、約 50~80% の著しい減少が認められた (Fig. 5)。

最大剛性に対する構造の種類 5 水準、支台装置の種類 3 水準の二元配置分散分析を行った結果を Table 1 に示す。構造、支台装置、交互作用のいずれも有意となり、寄与率は構造が 50.4%, 支台装置が 12.9%, 交互作用が 12.0% であった。

2. 降伏点荷重量

支台装置別に比較すると、全面被覆型と唇側面開放型の降伏点荷重量はほぼ同じであり、近遠心レスト型

Fig. 5 Maximum stiffness of specimens subjected to static testing
最大剛性

Table 1 Analysis of variance table (maximum stiffness)
二元配置分散分析 (最大剛性)

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean squares	F	Contributive ratio (%)	P
Structure	2038889.88	4	509722.47	38.94	50.44	<0.01
Retainer	532492.53	2	266246.27	20.26	12.86	<0.01
Interaction	577784.40	8	72223.05	5.50	12.00	<0.01
Residual	788506.43	60	13141.77			
Total	3937673.14	74				

は最大剛性と同様に約1/4の低い値を示したが、Type Eのみ支台装置による変化はほとんど認められなかった。

全面被覆型と唇側面開放型においては Type A が 245~265 kgf と他の構造に比較して有意に大きく、Type B~D の約 1.5 倍、Type E の約 7 倍の高値を示した (Fig. 6)。

Table 2 は降伏点荷重量に対する二元配置分散分析結果である。構造、支台装置、交互作用のいずれも有意となり、寄与率は構造が 44.7%、支台装置が 33.1%、交互作用が 10.5% であった。

3. 支台装置のひずみ

20 kgf 荷重時の支台装置の辺縁部、隣接面部、咬合面部に生じたひずみの絶対値を Fig. 7 a~c に示す。

辺縁部のひずみは Type A~D が 700~1,450 $\mu\epsilon$ とほぼ同等で Type E よりやや大きな値を示した。平均値の差の検定の結果、Type A, B の全面被覆型と近遠心レスト型の間に危険率 1% で、Type A, B と Type E の近遠心レスト型間に危険率 5% で有意差が認められた。

一方、隣接面部のひずみは辺縁部とは逆に Type E

Fig. 6 Ultimate strength of specimens determined by static testing
降伏点荷重量

Fig. 7 Strain on the retainer when the loads of 20 kgf were applied
支台装置のひずみ

Table 2 Analysis of variance table (ultimate strength)
二元配置分散分析 (降伏点荷重量)

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean squares	F	Contributive ratio (%)	P
Structure	217191.33	4	54297.83	72.11	44.71	<0.01
Retainer	160177.89	2	80088.94	106.36	33.12	<0.01
Interaction	56481.80	8	7060.23	9.38	10.53	<0.01
Residual	45178.87	60	752.98			
Total	479029.89	74

Fig. 8 Average of total strain on the retainer
ひずみの総和の平均値

が約 1,000~1,500 $\mu\epsilon$ と他の 4 構造より約 3~5 倍の大きなひずみ値を示した。支台装置別に比較すると Type B, E を除いて、全面被覆型、唇側面開放型、近遠心レスト型の順で大きくなる傾向を示したが、Type A, D の全面被覆型と近遠心レスト型の間を除いて有意差は認められなかった。

Type A~D の咬合面部のひずみは Type E に比較して約 2~10 倍の大きな値が認められた。また支台装置別に比較すると Type E を除いた 4 構造で、全面被覆型より唇側面開放型が約 1.1~2.2 倍の大きな値を示したが、支台装置間に有意差は認められなかった。

Fig. 8 は各測定部位におけるひずみの絶対値の総和を算術平均したものである。すべての構造で全面被覆型、唇側面開放型、近遠心レスト型の順に大きくなる傾向を示したが、各構造間に大きな差は認められず、最大でも Type C, E の全面被覆型と Type A, C の近遠心レスト型に約 570~610 $\mu\epsilon$ の差異が認められただけであった。

IV. 考 察

1. 試験片フレームワークについて

金属構造義歯とは限定されたデンチャースペースの中で適切なフレームワーク構造を設計、製作することにより、義歯の優れた強度と剛性を確保するとともに加齢的な変化への対応を容易にするため、義歯の咬合面を除いた外表面はレジンで製作する義歯のことである⁵⁻¹³⁾。しかし、強度に秀でたフレームワーク構造を付与しても支台装置に破損や変形が認められたのでは、義歯寿命の大幅な延長は期待できない。そこで試験片は 4 種の構造形式と 3 種の支台装置を組合せて製作し、支台装置と一体化した義歯構造について力学的

評価を加えることにした。

日常臨床において、著者らは金属構造義歯の中でも二重構造 (Type A, B) を主として適用しているが、金属歯の使用が困難な症例では T 字断面 (Type C) やトラス構造 (Type D) の設計を行っている。構造計算によれば T 字断面やトラス構造において適切な部材設計を行った場合、二重構造に劣らない強度や剛性を有している¹²⁾。また二重構造という構造形式の中でも部材配置や部材設計により、強度や剛性は大幅に変化する⁵⁾。そこで本実験では支柱数の異なる二重構造 2 形態 (Type A, B) と T 字断面 (Type C)、トラス構造 (Type D) の構造形式を選択した。

ところで、今日の部分床義歯の支持に対する見解は支台歯の能力に応じて歯牙に最大限の支持を求めるというものであり¹⁸⁾、その理論はリジッドサポートとして集約され、たとえ少数歯残存症例や孤立歯に対しても強支持型の設計が行われる場合も少なくない^{19,20)}。支台装置の有する支持能力は支台歯の被覆面積に大きく影響を受けるが、コーヌステレスコープ、キャップクラスプ、コーピングステレスコープは、この点で大きな支持能力を有することになる²¹⁾。本実験ではこのような支台装置を想定して全面被覆型の設計を行った。また臨床では唇側を開放した維持腕型キャップクラスプや歯冠の豊隆の問題から唇側あるいは舌側を開放したコーピング外冠も適用されており、これを唇側面開放型とした。また現状の欠損補綴においてはクラスプデンチャーの適応頻度が高く、その代表として近遠心レスト型の設計を行った。

使用金属として、支台装置は金合金が適合性において優れ、フレームワークは卑金属がヤング率、比重の点で有効である。しかし、異種合金を使用する場合、接合様式、ろう着法などの条件も実験結果に大きく影響するため、本実験ではコバルトクロム合金を用いたワンピース鋳造により、試料の製作を行った。

2. 試験方法について

現在までの支台装置およびスケルトン部との連結強度に関する研究は遊離端義歯を想定した片持ちはり形式で行われたものが多い^{5,10,12,22-24)}。しかし、フレームワークが降伏するまで荷重の負荷を行うような場合、支台装置に支台歯を嵌合させた状態で試料の一端を確実に把持し続けることは困難である。そこで本研究では孤立歯を想定した単純曲げ形式を採用した。この方法によれば支台歯により荷重されることから、支

台歯と顎堤粘膜の被圧変位性の相違により生じる歯列弓状のてこ作用を再現できる。また基本的には遊離端が両端に存在している形式であり、試料の一端のみに着目すれば片持ちはりには相当する。すなわち、本実験結果において荷重量を1/2に算定し比較することで、遊離端義歯としての評価も可能である。

Fig. 9は測定終了後の金型支台であるが、隣接面下方に支台装置辺縁部が接触し生じた圧痕が認められる。コーヌステレスコープ内冠の長期経過観察例においても同様な圧痕が認められることから、本試験方法は臨床に近似した加力と義歯の挙動を再現しているものと思われる。また今回の試験結果を理論的に算出するためには三次元的な有限要素法を用いるほかなく、実験的検討を行うこととした。

一方、本実験では直線状の試料であることから、純粋な曲げとせん断成分のみを検討点としていることになる。しかし実際の口腔内において歯列弓は弧状をなし、必然的にねじりモーメントが作用する。さらに義歯に加わる側方力とそれに拮抗する支台装置の把持能力なども義歯の破折強度を論ずる上で必要不可欠な因子である。それゆえ、支台装置の形態差による強度をさらに詳細に検討するためには荷重方向の変化や支持能力、把持能力との相関も今後の研究課題として残されている。

3. 最大剛性について

最大剛性を支台装置別に比較した場合、Type Bを除いて全面被覆型と唇側面開放型の間に有意差は認められなかった。これは咬合面を被覆する金属の厚みと面積が同一なことに原因を限定できる。本実験のように、荷重が支台歯側からの方向に規定されている場合、咬合面部は引張方向に隣接面部下縁は圧縮方向に変形を伴うが、その機序はFig. 9にみられるように隣接面部下縁が金型支台と接触した時点で金型支台が同部の変形を阻止するとともに、支台装置の咬合面部のみが強力な抵抗源となりうる。したがって咬合面を全面被覆するレストが存在すれば隣接面以外の軸面部の有無は大きな影響を及ぼさず、たとえば唇舌側の両面が開放されても有意な差は生じ得ないものと推測される。しかし荷重方向を逆に設定した場合や両振り試験²⁵⁾を行えば、隣接面部下縁は逆に引張方向に変形するため、明らかな相違を生じることが予測される。

これに対し、近遠心レスト型は隣接面部下縁が金型支台と一体化した後、舌側メタルアップ上縁のみのき

Fig. 9 Metal abutment after bending tests. Scar locations are seen (arrow)
金型支台の圧痕

わめて小さい抵抗源しか存在しないため、著しい剛性値の低下を示したものと思われる。

以上のことから支台装置に関しては支持能力だけでなく、剛性、強度に関しても咬合面を大きく被覆するレストの重要性が強調できる。もちろん臨床において、辺縁隆線に局限したレストの設計しか適応できない症例では、舌側メタルアップ部の厚みを増すことが力学的に有効である。しかし厚みを十分に付与できない場合には補強用コネクターを付与し、支台装置の両端を連結することで、曲げモーメントだけでなく、ねじりモーメントに対してもきわめて有益に作用すると思われる。

さて、義歯構造の中でType A, C, Dの最大剛性がほぼ同等であったにもかかわらず、Type Bはこれより小さな値であった。特にType AとType Bは同じ二重構造という構造形式を有しながら、わずかに支柱2本の増減で大きな剛性の差が生じていた。この理由として、二重構造は支台装置付近の支柱部に大きな曲げモーメントが生じており、剛性値の低下に起因したと考えられる。そこで、同構造を強化するためには支柱数や支柱径の増大が必要であり⁵⁾、支柱をプレート状にし、I字断面とすれば、飛躍的に強度が増大することが構造計算より明らかである。同様にT字構造においてもステム(縦方向部材)の延長や厚みを増すことにより断面2次モーメントを大きく設計することが可能であり²⁴⁾、トラス構造においては両端支柱の一体化や支柱径の増大、接合部を剛域にすることで、大幅に強度は向上する。

a. Full coverage of type A~E

b. Different retainer designs of type A

Fig. 10 Typical failure of individual specimens after bending tests
破断状態

4. 降伏点荷重量について

既報の研究^{5,8,10,12)}においては、試験片フレームワークに義歯床用加熱重合レジンを填入し、レジンのひび割れをもって試料の降伏値とした。これは各種構造体の有するレジンとの接合性を重要視し、レジンと一体化した状態の強度を評価する必要があったからである。しかし、本実験では各種構造と支台装置との力学的相関に着目しており、特に支台装置の破折強度を比較検討する目的からレジンの填入は行わず、フレームワークの状態で行った。

各種構造における降伏点荷重量は Type A が最大で、次に Type B, C, D の順となり、最大剛性とは若干異なる傾向を示した。この点に関してはフレームワークの破断状態の観察から、考察を加えてみたい。

Fig. 10-a は全面被覆型における 5 種構造の破断状態である。Type C~E においては連結部で支台装置の破断が認められたが、Type A, B は支台装置自体

に大きな変化は認められず、構造体支柱部に破断が生じている。これらのことから、Type A, B は他の 3 構造に比較して、上部材の存在が支台装置への応力集中を減少させ、降伏点荷重量が向上したと思われる。すなわち Type B は最大剛性において Type C, D に劣るものの、二重構造の有する支台装置の補強効果が作用して、支台装置と一体化したフレームワークにおいては、Type C, D と同等の破折強度が得られたものと推察される。

一方、Type A を支台装置別に比較してみると全面被覆型と唇側面開放型では約 350 kgf の荷重量で構造体支柱部の破断が認められたが、近遠心レスト型はその約 1/5 の低荷重域で、すでに支台装置に変形が生じていた (Fig. 10-b)。すなわち部分床義歯のフレームワーク設計に際しては、単に義歯構造のみの強度を対象とするのではなく、支台装置の強度を十分配慮しなければならないことが示唆された。

5. 支台装置のひずみについて

全面被覆型に代表される外冠に支台歯が嵌合する場合、理論的には辺縁部と咬合面で引張りひずみが、隣接面部では圧縮ひずみが発現することが予想される。川崎ら²⁶⁾もコーヌステレスコープ外冠に垂直荷重を作用させた時、垂直方向で圧縮ひずみが、水平方向で引張りひずみが生じていたと述べている。

本実験では単軸ストレインゲージを使用しているため、明確な主ひずみ方向の規定は不可能であるが、辺縁部において 75 カ所の計測点中、46 部位で水平方向に引張りひずみが検出され、川崎ら²⁶⁾とほぼ同様な外冠のひずみ動態を認めるものと推考される。

また隣接面部では Type A~D が Type E に比較して、フレーム部により支台装置隣接面が補強されているため、同部の変形は少なくひずみの絶対値も小さくなったと考えられる。しかし咬合面部では逆に、Type A~D は Type E より大きな力が伝播されており、ひずみ値も大きくなる傾向を示していたと思われる。

1993 年、瓜田¹⁶⁾はコーヌステレスコープ外冠前装に対する陶材の適用を目的に、外冠脚部に荷重を加え、外冠のひずみを測定した結果、正負一定の傾向を示す部位と正負両方を示す部位があったとし、両方のひずみを示した中でも荷重中に逆のひずみへと移行するものと正負を交互に繰り返すものを認めている。特に同一試料を同一条件で計測したにもかかわらず、試

Table 3 Change of various strain on the retainer
支台装置のひずみ動態

a. Marginal region

	Full coverage					4/5 coverage					Mesiodistal rest				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
A	+	+	+	+	+	+	+	±	±	+	+	+	+	+	+
B	±	±	±	+	+	±	±	±	+	+	+	+	+	+	+
C	±	±	+	+	±	±	±	+	+	+	+	±	-	+	+
D	+	+	+	+	+	+	+	±	±	+	+	+	+	+	+
E	+	±	±	±	+	±	±	+	±	±	±	±	-	±	±

- : compressive strain

+: tensile strain

± : changeful strain

b. Proximal region

	Full coverage					4/5 coverage					Mesiodistal rest				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
A	±	+	+	±	±	±	+	-	+	±	±	±	±	+	±
B	±	±	+	±	+	+	+	±	±	±	±	±	±	+	±
C	+	±	+	+	+	±	+	+	+	-	+	+	+	±	±
D	+	±	+	±	±	+	±	+	+	±	±	+	+	+	+
E	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	+	+	+	+

- : compressive strain

+: tensile strain

± : changeful strain

c. Occlusal region

	Full coverage					4/5 coverage				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
A	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+
B	+	+	+	+	+	+	+	±	+	±
C	±	±	±	+	±	±	±	±	±	±
D	+	+	+	+	±	±	±	±	+	±
E	±	±	±	±	±	±	-	-	±	±

- : compressive strain

+: tensile strain

± : changeful strain

料の 2/3 が同一傾向を示さなかったとしており、注目に値する。

本実験における 0~25 kgf まで荷重をした時の各測定部位のひずみ動態を Table 3-a~c に示す。引張ひずみを+, 圧縮ひずみを-, 引張と圧縮の両方を示したものを±で表示した。その結果, 同じ Type の試料内で圧縮ひずみ, 引張ひずみのどちらか一方を示したものが, 辺縁部で 48, 隣接面部で 35, 咬合面部で 26 と全計測点の 1/2~2/3 程度しか認められなかった。その他の計測部位は荷重中に引張から圧縮, 圧縮から

引張へと移行するものや引張と圧縮を交互に繰り返すものであり, 瓜田¹⁶⁾の実験結果と同一傾向を示していた。この原因として瓜田¹⁶⁾は支台歯と外冠が面接触ではなく, 点接触であり, その位置も一定していないことをあげている。著者らも支台歯が完全に支台装置に嵌合し, 理想的な面接触が発現されていたとは考えられず, 点接触とわずかな間隙の存在から面接触に移行するように, 支台装置中で局所的に微少な曲げ変形が生じ, ひずみの正負に一定傾向が認められなかったものとする。また前述したようにすべての全面被覆型

は荷重により隣接面部下縁が金型支台と接触するように変形するため、一層、複雑なひずみ挙動を示したものと推察される。しかし支台装置中の微小な曲げ変形の立証に関しては内側にもストレインゲージを貼付するしかなく、この仮説に関しては推論の域をでない。

このように荷重の増加に伴い、ひずみ値が複雑に変化するため、ひずみを比較する荷重量の設定は支台装置がわずかに変形し、金型支台が確実に嵌合した状態で評価するのが妥当である。そこで本研究では比較値とする荷重量を比例限範囲内で、ある程度ひずみが一定傾向を示した 20 kgf とした。

いずれにしても、完全な面で接触する鋳造体の製作が困難な現状においては、支台装置に複雑なひずみ分布が生じることは避けられないものと思われ、前装部の破折や破損の対策には、さらに詳細な検討が必要と思われる。

他方において、瓜田¹⁶⁾は脚部の形態により、ひずみの総和が大きく変化するとし、特に beam 形態が有効であると報告している。ところが、本研究においては各測定部位別に比較した場合、義歯構造間に差を認めたものの、ひずみの総和として着目すると構造間に大きな差は認められなかった。これは隣接面部下縁の小さい Type A～D が逆に辺縁部、咬合面部下縁で大きなひずみを示したため、平均してほぼ同じ値になったものと考えられる。また Type A～D が、総じて支台装置の同等な変形様相を示したことも一因であろう。

ともあれ、フレームワークのあるべき姿として、強度や剛性が優れていることは論をまたないが、その他にもパターン構築から鋳造に至る技工操作の難易度、フレームワークの重量、レジンの強化度なども重要因子である。総合的見地から患者固有のデンチャースペース内で効率のよい義歯構造と支台装置の最適設計²⁷⁾が望まれる。

V. 結 論

5 種の義歯構造と 3 種の支台装置の相違が義歯の破折強度に及ぼす影響に関して、静的曲げ試験を行い、力学的評価を行った。さらに支台装置に生じるひずみを同時測定し、破断状態を比較検討した結果、以下の結論を得た。

1. 最大剛性は二重構造（支柱 6 本）、トラス構造、T 字断面がほぼ等しく、長方形断面の約 10 倍の値であった。

2. 降伏点荷重量は二重構造（支柱 6 本）が最も大きく、二重構造（支柱 4 本）、トラス構造、T 字断面の約 1.5 倍、長方形断面の約 7 倍を示した。

3. 全面被覆型、唇側面開放型の最大剛性と降伏点荷重量は義歯構造にかかわらず、ほぼ同等であるが、近遠心レスト型は約 1/4 と著しく小さな値を示した。

4. 荷重時の支台装置には圧縮ひずみと引張ひずみだけでなく、その両方を示す複雑なひずみ動態が認められた。

5. 20 kgf 荷重時の辺縁部、咬合面部下縁のひずみはフレームワークの強度が向上するに従い大きくなり、隣接面部下縁では逆に小さくなる傾向を示した。

6. 義歯の破折強度の向上にはフレームワークの構造設計と共に支台装置の選択、設計の重要性が示唆された。

本論文の要旨の一部は平成 5 年度日本補綴歯科学会関東支部学術大会において発表した。

本研究の一部は文部省科学研究費（課題番号 05771746）により行われた。

文 献

- 1) 雨森 洋, 奥野正隆, 郡司和彦ほか: 部分床義歯の予後に関する臨床的研究 (II) 第 2 報 部分床義歯の使用状態について, 補綴誌, 12: 155～171, 1968.
- 2) Dunny, J.A. and King, G.E.: Minor connector designs for anterior acrylic resin bases: A preliminary study, J Prosthet Dent, 34: 496～502, 1975.
- 3) Lewis, A.J.: Failure of removable partial denture casting during service, J Prosthet Dent, 39: 147～149, 1978.
- 4) Ben-Ur, Z., Matalon, S., Aviv, I. et al.: Rigidity of major connectors when subjected to bending and torsion forces, J Prosthet Dent, 62: 557～562, 1989.
- 5) 大久保力廣: 義歯の構造設計に関する実験的研究, 補綴誌, 33: 1273～1287, 1989.
- 6) 宮田孝義, 鈴木恭典, 大久保力廣: 義歯破損例からコーヌス・テレスコープ・デンチャーの構造設計を考える, QDT, 16: 59～66, 1991.
- 7) 尾花甚一, 宮田孝義, 阿部 實ほか: 金属構造義歯の設計と臨床—二重構造フレームワークの力学—, 歯界展望 (臨時増刊), 79: 1268, 1992.
- 8) 栗原大介: 金属構造義歯の曲げ強度特性に関する実験的研究, 鶴見歯学, 20: 163～179, 1994.
- 9) 尾花甚一監修: すれ違い咬合の補綴 第 3 章 金属構造義歯, 38～48, 医歯薬出版, 東京, 1994.

- 10) 大久保力廣, 鈴木恭典, 栗原大介ほか: 義歯構造の相違がねじり強度に及ぼす影響, 補綴誌, 36: 443~449, 1992.
- 11) 鈴木恭典: 義歯の構造が負担圧配分に及ぼす影響に関する実験的研究, 補綴誌, 36: 1072~1086, 1992.
- 12) 大久保力廣, 鈴木恭典, 中山 昇ほか: 義歯構造の相違が疲労強度に及ぼす影響, 補綴誌, 37: 420~430, 1993.
- 13) 宮田孝義: 回復した機能を長期に保つために, 補綴臨床別冊/診断と治療像を探る, 97~112, 1989.
- 14) 渋谷隆司, 松元 誠, 川崎隆二ほか: 部分床義歯の予後に関する臨床的研究 (III) 第3報 義歯の破損などについて, 補綴誌, 20: 24~30, 1976.
- 15) 天日雄二, 村上 昇, 池谷完治ほか: 部分床義歯症例の統計的観察 第4報 義歯の破損について, 鶴見歯学, 12: 441~445, 1986.
- 16) 瓜田真久: コーヌスクローネの外冠に関する研究—脚部荷重時の外冠のひずみと前装陶材破折—, 補綴誌, 37: 687~697, 1993.
- 17) 白土健治: コーピングテレスコープに関する実験的研究—適合精度と維持力について—, 鶴見歯学, 17: 131~150, 1991.
- 18) 阿部 實, 大久保力廣, 宮田孝義: 欠損型に応じてどのように支持を求めるか, 補綴臨床, 21: 295~300, 1988.
- 19) 後藤忠正: Rigid Support による少数残存歯補綴の経過 (1), The Quintessence, 1: 67~84, 1982.
- 20) 宮田孝義, 鮎沢慈子, 尾花甚一: 少数歯残存症例の診査と治療計画, 補綴臨床別冊/少数歯残存症例の補綴, 45~58, 1983.
- 21) 宮田孝義, 高山慈子, 大久保悦子: リジッド・サポートによるパーシャル・デンチャーの診断, 補綴臨床別冊/リジッド・サポートによるパーシャル・デンチャーの設計指針, 55~66, 1987.
- 22) Brown, D.T., Desjardins, R.P. and Chao, E.Y.S.: Fatigue failure in acrylic resin retaining minor connectors, J Prosthet Dent, 58: 329~335, 1987.
- 23) Craig, R.G. and Peyton, F.A.: Strain on the framework of a mandibular free-end saddle partial denture under load, J Biomed Mater Res, 1: 263~274, 1967.
- 24) Stewart, R.B., Desjardins, R.P., Laney, W.R. et al: Fatigue strength of cantilevered metal frameworks for tissue-integrated prostheses, J Prosthet Dent, 68: 83~92, 1992.
- 25) 須藤 一: 材料試験法, 117~148, 内田老鶴圃, 東京, 1986.
- 26) 川崎貴生, 山田 亨, 沢田勝範ほか: コーヌス・クローネの維持力と外冠の変形について, 歯界展望, 64: 83~89, 1984.
- 27) 日本機械学会編: 構造・材料の最適設計, 1~24, 技報堂出版, 東京, 1989.