上下総義歯の経時的な変形に関する実験的研究

—咬合接触様式と側方滑走距離による影響—

佐々木雅博

Experimental Studies on the Longitudinal Deformation of Upper and Lower Complete Dentures

— Influences of Occlusions and Lateral Gliding Excursions —

Masahiro Sasaki

Abstract : Full balanced occlusion and lingualized occlusion of the upper and lower complete dentures were studied about deformation using a model programs of long term exercise of denture under similar conditions in vivo.

Deformation of the denture was analyzed by strain gauges placed on the middle line of the denture base after three hundred thousand times of lateral gliding movement in water at 37°C. The lateral gliding excursion was tested at three different distances (0, 0.5, 2.0 mm).

This study showed that tensile strain in the centric occlusion and compressive strain during lateral gliding excursion occurred at the central area of the dentures. The proportional increase of maximum shear strain was brought about by the increase of lateral gliding excursions. The data suggested therefore that quality, thickness, and reinforcement of denture must be carefully designed if long lateral gliding excursion is needed.

With respect to two types of occlusions, lingualized occlusion was found to give less deformation and better distribution of stress as compared to full balanced occlusion at any length of duty time tested.

In conclusion, these results proved that the lingualized occlusion is superior to full balanced occlusion in terms of deformation and stress distribution.

Key words : complete denture, full balanced occlusion, lingualized occlusion, lateral gliding excursion, strain

I. 緒 言

日常の補綴治療において製作された総義歯は、装着後口腔内環境に順応すると共に長期にわたってその形態と

北海道大学歯学部歯科補綴学第一講座（指導：三木敬一教授）
The First Department of Prosthetic Dentistry, School of
Dentistry, Hokkaido University (Director : Prof. Keiichi
Miki)

昭和62年6月24日受付

機能を保持することが要求される。しかしながら、一度装着された総義歯は口腔内において咀嚼運動による年間50万回有余の繰返し荷重負荷を受け¹⁾、さらに有機材料としてはきわめて苛酷な範囲を持つ温度環境の影響を受けることになる²⁾。臨床において使用頻度の最も高い床用材料であるアクリリックレジンはいこれらの口腔内環境の影響を非常に受けやすく、温度上昇に伴う吸水性の増大³⁾、機械的性質の劣化⁴⁻⁶⁾および疲労による強度の低下⁷⁾が基礎的研究結果より明らかになっている。

また、有床義歯の予後を対象とした数多くの報告⁸⁻¹³⁾は、総義歯の不適合の症例が経年的に増加することを示している。小山⁸⁾は総義歯の20%は1年以内に不適合を示すと報告しており、細井ら⁹⁾は装着後5年経過した44名のうち27名が不適合を訴えたことを報告している。この不適合は、増齡的、生理的な吸収による顎堤形態の変化¹⁴⁾によるところも多いと考えられるが、先に示した苛酷な口腔内環境に起因する義歯の変形も少なくなく、これらにさらに多くの因子も加わり相加相乗的に作用し、複雑な経過を経て起こるものと考えられる。したがって、口腔内長期使用におけるレジン床義歯の変形の動向を把握し原因を追及することは臨床の上で重要な課題となる。

総義歯における変形の動向を知る方法としてはストレス下での義歯床のひずみ・応力を測定する方法があり、多くの先人達により報告¹⁵⁻³¹⁾されている。すなわち、応力塗料法¹⁵⁻¹⁷⁾、光弾性試験法^{18,19)}、ホログラフィーを用いる方法^{20,21)}やひずみゲージ法²²⁻³¹⁾等により義歯床のひずみ・応力分布が示されている。しかし、これらは負荷方法および温度・湿度条件が口腔内環境と異なること、あるいは一過性のひずみ・応力挙動を示しているだけに過ぎず、長期的観察の観点からの経時的な変形の動向については十分に解明されているとはいえない。さらに加圧側の要素である咬合が受圧側である支持組織の性状と関連して変形の動向にどのような影響をおよぼすかについても解明しなくてはならないと考える。

咬合によるひずみ・応力分散に関して、特に咬合接触様式と咀嚼運動時の側方滑走が義歯の動態に重大な影響を与えると考えられる。すなわち、各種咬合接触様式と側方滑走距離の相違によって咬合・咀嚼力の作用点とその方向が変化し、義歯の変位や義歯床のひずみ・応力分散などにも重大な影響をおよぼすものと考えられるからである。

そこで、本研究では口腔内条件下で繰り返し荷重を負荷できる咬合試験機を考案、試作し長期観察を可能とした上で総義歯に与える咬合接触様式と側方滑走距離がどのように総義歯の経時的な変形に影響を及ぼすかを究明することにした。

II. 咬合試験機

1. 設計の要件

咬合試験機を試作するにあたってつぎのような条件を設定した。

図1 咬合試験機

- (1) 中心咬合位における開閉運動と偏心咬合位からの滑走運動を組合せた運動が繰返し行え、しかもその運動のいずれか一方を単独で行うことも可能であること。
- (2) 滑走距離を任意に設定できること。
- (3) 実験中、試料環境は口腔内と類似したものであること。
- (4) 運動精度が高く、耐久性のあること。

2. 咬合試験機の構造

本試験機は前記の条件を考慮して設計、製作された。図1、2は試験機の全体像と各部名称を示しているが、本体とコントロールユニットを組込んだ台座より成り立っている。試験機の運動は①の可変速モーターの回転が②の上下動カムと水平動カムに伝えられ、これらのカムの回転により③の水槽が押しあげられかつ水平動を起こすことにより達成される。この時、垂直方向は④のリニアベアリングが水平方向は⑤のスライドガイドが働いて運動方向を規制している。試料は⑥の上部試料固定台および水槽内部の下部試料固定台に顎堤形状金型ごと取り付ける構造になっており、試料の位置の調整は⑦の下限ストッパーと⑧の姿勢アジャストボルトにより可能である。水平移動量は水平動カムを交換することにより任意に設定できる。⑨は台座を示している。⑩は運動回数調節計である。⑪は温度調節計であり、⑫のヒーターにより加温され室温から50°Cまで水温設定でき、⑬の温度センサーにより±1°Cの精度で温度コントロールが可能である。なお、水槽内温度を一定に保つため、⑭には水流ポンプが取り付けられている。⑮は積算カウンターであるが、⑯の回数検出器からの入力により連続10⁶

①：可変速モーター ②：上下、水平動カム ③：水槽 ④：リニアベアリング ⑤：スライドガイド ⑥：上部試料固定台 ⑦：下限ストッパー ⑧：姿勢アジャストボルト ⑨：台座 ⑩：運動回数調節計 ⑪：温度調節計 ⑫：ヒーター ⑬：温度センサー ⑭：水流ポンプ取り付け台 ⑮：積算カウンター ⑯：回数検出器 ⑰：荷重 ⑱：バランスー

図 2 咬合試験機の各部名称

回までカウントでき、所定の回数で自動停止も可能である。

上部可動部は総重量が 5 kg であるため、⑰に 5 kg の荷重を置くことによりバランスがとれるようになっている。このバランスの微調整は⑱のバランスーにより可能である。負荷荷重の設定はバランスをとった後に、その荷重分を⑰から取り除くことによりなされる。よって設定可能な荷重範囲は 0~5 kg までである。

III. 実験方法

本研究では咬合接触様式と側方滑走距離を変化させた上下総義歯を試料とし、これを咬合試験機上で咬合させることにより負荷を加えた。そして、その負荷によって生じた義歯床のひずみを測定しロゼット解析を行い、これら 2 つの因子が総義歯の変形に及ぼす影響について、検討評価した。

1. 試料の製作方法

ニッシン社製無歯顎模型 G 2-402 F をベースとした顎堤形状金型を製作し、これに粘膜として厚さ 2 mm の呉羽社製クレパート³²⁾をデンタル・シアノンにて接着したものを顎堤模型とした。顎堤模型完成後各個トレーで東芝社製トシコン・インジェクションを用いて印象採得を行い、Keer 社製ベルミックス・ストーンにて作業用模型

を作製した。咬合床は顎堤頂から咬合平面までの高径が前歯部で 14 mm、大臼歯部で 11 mm となるように作製し、Gysi-Simplex 咬合器に装着後本学模型実習書に基づいて人工歯配列を行った。使用した人工歯は臼歯部は而至社製リブデント FB 30 ポーセレン 30/32、前歯部はリブデント S 4、4 である。人工歯配列後歯肉形成を施し通法に従い埋没、流蠟を行った。床用材料は而至社製アクロン No. 4 (粉液比=1:0.43) を用い、重合は 65°C・120 分、100°C・60 分の温浴で行った。重合完了後室温まで水槽内に放置し、開輪後通法に従い研磨仕上げしたものをオリジナル・デンチャーとした。完成したオリジナル・デンチャーを顎堤模型上に設置し、ベルミックス・ストーンを用いて分割石膏コアを作製した。人工歯固定後石膏分割面を封鎖しオリジナル・デンチャーと同一条件にて複製義歯を製作した。完成した義歯は室温水中に 17 日間浸漬し、これを試料とした。

2. 咬合構成

義歯に付与する咬合接触様式として、Full・Balanced・Occlusion (以後これを F・B・O と略記する。)と、Lingualized・Occlusion (以後これを L・O と略記する。)の 2 種を設定した。さらに側方滑走距離として、0, 0.5, 2 mm の 3 条件を設定した。0 mm は中心咬合位における開閉運動のみの咬合接触とし、0.5, 2 mm の場合はそれぞれの距離を滑走後中心咬合位においても咬合接触するように設定し、咀嚼サイクルをシミュレートした構成とした。これにより 6 種類の咬合条件の構成となった。試料数は各条件につき上下総義歯 5 組 10 個、計 30 組 60 個である。

3. 測定方法

1) 測定部位およびゲージの接着

測定部位としては総義歯の構造上応力集中が生じ易く、臨床において破折の頻度の高い部位^{10,33,34)}を選択した。すなわち、上顎においては口蓋正中前方部 (以後 A 点とする)、同後方部 (以後 B 点とする)、下顎においては正中舌側部 (以後 C 点とする)、同唇側部 (以後 D 点とする) の 4 点とした (図 3)。咬合調整を完了した義歯のこれらの部位にエメリー紙 (#400) にて表面処理後、共和社製防水 45° 直角 3 軸型 ひずみゲージ SKF 3370 を CC 15 A にて接着した (図 4)。ゲージの接着は ec を正中矢状線上に一致させ、正中矢状線と直交する線上に ea を一致させた。これより正中矢状線を y 軸、それと直交する線を x 軸とする基準軸を設定した (図 5)。

図 3 ひずみゲージの貼付部位

図 4 試料上にロゼット・ゲージを貼付

2) 試験条件

キュアリング後、試料を 37°C 温水中に 2 時間浸漬し温度・湿度環境に順応させた。試験は 37°C 温水中、荷重 2 kg、試験速度 78 回/分、垂直移動量 5 mm、水平移動量を先の条件下で 30 万回ずつ繰返し荷重を負荷した。

3) 測定装置および演算式

測定は共和社製スイッチボックス SS-12 R と静ひずみ計 SM-60 D を用いて 5 万回毎に行った。ロゼット解析は図 5 に示す演算式を用いて、NEC パーソナル・コン

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= 1/2(\varepsilon_a + \varepsilon_c) + \sqrt{2\{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)^2 + (\varepsilon_b - \varepsilon_c)^2\}} \\ \varepsilon_2 &= 1/2(\varepsilon_a + \varepsilon_c) - \sqrt{2\{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)^2 + (\varepsilon_b - \varepsilon_c)^2\}} \\ r_{\max} &= \sqrt{2\{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)^2 + (\varepsilon_b - \varepsilon_c)^2\}} \\ \theta &= 1/2 \tan^{-1}\{(2\varepsilon_b - \varepsilon_a - \varepsilon_c)/(\varepsilon_a - \varepsilon_c)\} \\ \varepsilon_1, \varepsilon_2 : \text{主ひずみ} (\times 10^{-6}) \quad r_{\max} : \text{最大せん断ひずみ} (\times 10^{-6}) \quad \theta : \text{角度} (^{\circ})\end{aligned}$$

図 5 ロゼット解析に用いた基準軸 (上) と演算式 (下)

滑走距離	0mm	0.5mm	2.0mm
前方部 (A 点)			F・B・O
			L・O
後方部 (B 点)			F・B・O
			L・O

引張ひずみ $\longleftrightarrow$ F・B・O 圧縮ひずみ $\bullet\bullet\bullet$ F・B・O
 $\dashrightarrow$ L・O $\dashrightarrow$ L・O
 --- 200×10^{-6}

図 6 上顎口蓋正中中部における主ひずみ (ひずみ量は 30 万回負荷後の値を示している。)

ピューター 9801 V M II にて行い、主ひずみ $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ 、最大せん断ひずみ $r_{\max}$ 、角度 θ を解析した。

IV. 実験結果

図 6~11 に解析結果を示した。主ひずみは 30 万回負荷後の値である。なお、危険率 5% 以下で有意差検定を行った。

1. 上顎義歯

1-1. 口蓋正中前方部 (A 点)

1) 主ひずみ: 図 6 は A 点における主ひずみを示している。

図 7 上顎口蓋正中前方部における最大せん断ひずみ

図 8 上顎口蓋正中後方部における最大せん断ひずみ

(a) 側方滑走距離の相違による結果

滑走距離の増加に伴い主ひずみは減少する傾向を示した。

F·B·O: 滑走距離 0mm と 0.5mm では x 軸, y 軸方向に経時的に増加する引張ひずみが認められた。主ひずみの大きさに関しては両者間に有意差は認められなかったが、基準軸に対する主ひずみの角度は 0.5mm が 0mm より 10 万回以降において有意に大きかった。2mm では前二者に比較すると絶対値は小さいが、性質の異なる圧縮ひずみが x 軸方向に生じており経時的に増加する傾向が認められた。

L·O: 0mm と 0.5mm では F·B·O と同様に x 軸, y 軸方向に引張ひずみが認められた。主ひずみの大きさは 0mm が 30 万回において有意に大きかった。2mm では y 軸方向に経時的に増加する引張ひずみが認められた。

(b) 咬合接触様式の相違による結果

0mm と 0.5mm では 30 万回において有意に F·B·O が大きな値を示した。2mm では F·B·O が x 軸方

向の圧縮ひずみ, L·O が y 軸方向の引張ひずみという相異なる結果を示した。

2) 最大せん断ひずみ: 図 7 は A 点における最大せん断ひずみを示している。

(a) 側方滑走距離の相違による結果

主ひずみとは異なり滑走距離の増加に伴い最大せん断ひずみは増大する傾向を示した。

F·B·O: 2, 0mm 間では 15 万回以降において 2mm が有意に大きかった。2, 0.5mm 間では 2mm が大きな値を示した。

L·O: 2mm は 0, 0.5mm より 20 万回以降において有意に大きな値を示した。

(b) 咬合接触様式の相違による結果

最大せん断ひずみに関しては F·B·O, L·O 間に顕著な差は認められなかった。なおいずれの咬合接触様式においても 5 万回から 10 万回にかけてひずみ量が大きく増加する傾向は同一であった。

1-2. 口蓋正中後方部 (B 点)

1) 主ひずみ: 図 6 は B 点における主ひずみを示し

ている。

(a) 側方滑走距離の相違による結果

滑走距離の増加に伴い主ひずみは減少する傾向を示した。

F・B・O：A点と同様に0mmと0.5mmではx軸、y軸方向に引張りひずみが生じており、経時的に増大する傾向を示した。2mmではx軸方向に圧縮ひずみが生じており、経時的に増大する傾向が認められた。

L・O：0mmと0.5mmではF・B・Oとほぼ同様の結果を示した。2mmではx軸方向に圧縮ひずみ、y軸方向に引張りひずみが生じておりA点における主にy軸方向の引張りひずみとは異なる結果を示した。

(b) 咬合接触様式の相違による結果

0mmと0.5mmでは、F・B・OがL・Oより30万回において有意に大きな値を示した。2mmではx軸方向の圧縮ひずみは、F・B・Oが20万回以降において有意に大きな値を示した。

2) 最大せん断ひずみ：図8はB点における最大せん断ひずみを示している。A点と同様に滑走距離の増加に伴い最大せん断ひずみは増大する傾向を示したが、各咬合条件間に有意差は認められなかった。

(a) 側方滑走距離の相違による結果

F・B・O：2mmは経時的に0.5, 0mmより大きくなる傾向を示した。

L・O：三者間に明らかな差は認められなかった。

(b) 咬合接触様式の相違による結果

全ての滑走距離においてF・B・OはL・Oより大きな値を示し、経時的にその差が増大する傾向が認められた。

2. 下顎義歯

2-1. 正中舌側部 (C点)

1) 主ひずみ：図9はC点における主ひずみを示している。

(a) 側方滑走距離の相違による結果

滑走距離の増加に伴い主ひずみは減少する傾向を示した。

F・B・O：0mmと0.5mmではx軸、y軸方向に経時的に増加する引張りひずみが認められた。主ひずみの大きさは0mmが0.5mmより20万回以降において有意に大きな値を示した。一方、主ひずみの角度は0.5mmが0mmより有意に大きく側方滑走の影響が認められた。2mmではx軸方向に経時的に増加する圧縮ひずみが認められた。

図9 下顎正中部における主ひずみ (ひずみ量は30万回負荷後の値を示している。)

L・O：0mmと0.5mmではF・B・Oとほぼ同様の傾向が認められた。2mmではx軸方向に圧縮ひずみ、y軸方向に引張りひずみが生じておりB点と同一傾向が認められた。

(b) 咬合接触様式の相違による結果

0mmと0.5mmではF・B・OがL・Oより大きな値を示した。2mmではx軸方向のひずみはF・B・Oが5万回以降において有意に大きな値を示した。

2) 最大せん断ひずみ：図10はC点における最大せん断ひずみを示している。

(a) 側方滑走距離の相違による結果

上顎A、B点と同様に滑走距離の増加に伴い最大せん断ひずみは増大する傾向を示した。

F・B・O：2, 0mm間では経時的に2mmが大きくなり25万回以降において有意差が認められた。2, 0.5mm間では20万回以降において2mmが大きな値を示した。0.5, 0mm間では全測定時において0.5mmが大きな値を示した。

L・O：2mmは0, 0.5mmより30万回において有意に大きな値を示した。0.5, 0mm間では10万回において0.5mmが有意に大きな値を示した。

(b) 咬合接触様式の相違による結果

各測定時においてF・B・OがL・Oより大きな値を示した。

2-2. 正中唇側部 (D点)

1) 主ひずみ：図9はD点における主ひずみを示している。

(a) 側方滑走距離の相違による結果

滑走距離の増加に伴い主ひずみは減少する傾向を示し

図 10 下顎正中舌側部における最大せん断ひずみ

図 11 下顎正中唇側部における最大せん断ひずみ

た。

F·B·O:0mm と 0.5mm では x 軸, y 軸方向に引張ひずみが生じており, x 軸方向のひずみが y 軸方向のひずみより大きな値を示した。2mm では x 軸, y 軸方向に圧縮ひずみが生じており, かつ y 軸方向のひずみは経時的に増加する傾向が認められた。

L·O:0mm と 0.5mm では F·B·O とほぼ同様の傾向を示した。

(b) 咬合接触様式の相違による結果

0mm では F·B·O, L·O 間に顕著な差は認められなかった。0.5mm と 2mm では 25 万回以降において F·B·O が有意に大きな値を示した。

2) 最大せん断ひずみ: 図 11 は D 点における最大せん断ひずみを示している。

(a) 側方滑走距離の相違による結果

他測定点においては滑走距離の増加に伴い最大せん断ひずみは増大する傾向が示されたが, D 点では顕著には認められなかった。

F·B·O:0.5, 0mm 間では 15 万回, 20 万回において 0.5mm が大きな値を示した。2, 0.5mm 間では 10

万回以降において 0.5mm が大きかった。

L·O:2, 0.5mm は 0mm より各測定時において大きな値を示した。

(b) 咬合接触様式の相違による結果

0mm と 2mm では F·B·O が L·O より 30 万回において有意に大きな値を示した。0.5mm では F·B·O が L·O より 20 万回において有意に大きかった。

V. 考 察

1. 咬合試験機について

総義歯の経時的な変形に関する研究を実験室で行うにあたっては, これを口腔内条件下において行うことが不可欠となる。したがって, 咬合・咀嚼力によるストレスおよび温度・湿度環境をいかにして試料上に再現するかが重要な課題となる。義歯を対象とし滑走運動を行う試験機としては, 小出²⁷⁾のシミュレーターが報告されている。しかし, 口腔内条件下で長時間におよぶ測定を行う本実験環境に適するという点では, 人工歯の摩耗量の測定を目的とした摩耗試験機³⁵⁻³⁸⁾の方に長所が見出され

る。これらの報告を参考に本試験機は今回の実験目的に沿う形で考案、試作された。すなわち、臨床への応用を考慮して人工歯の衝突と滑走を伴う繰返し荷重法を採用し、先に示した条件設定により咀嚼サイクルの再現を試みた。また、レジン床義歯の試料について連続30万回、約64時間にも及ぶ繰返し荷重を負荷する実験環境であることから、温度・湿度環境が義歯の疲労に及ぼす影響を考慮して全行程で試料環境を37°C温水中に設定することにした。

さて、実験終了まで計1,500万回以上試験機は作動したことになる。この間水平動カムに摩擦がみられカムを交換することにより対処したが、その他の可動部には異常な損傷やがたつきが認められず、義歯の対合状態に変化を生じることはなかった。よって、本試験機による条件の変化が結果に及ぼす影響については無視できるものと考えられる。

2. 実験方法について

1) 試料について

床用材料は機械的性質および疲労強度の点で優れ、現在臨床において使用頻度の高い加熱重合レジンを選択した。口蓋部の厚さはクラックの発生がもたらすひずみへの影響を考慮して中央部から後縁部にいたる部位が 2.5 ± 0.1 mmとなるように仕上げた。また、人工歯は摩耗量の少ないリブデント陶歯³⁸⁾を用いて設定した対合関係が負荷の終了するまでできるだけ維持されるようにした。

試料に付与した咬合接触様式は両側性平衡咬合の中から、F・B・OとPound^{39,40)}の提唱するL・Oを設定した。この両咬合接触様式は現在臨床で多用されており実験結果を臨床に反映する上で最適と考えたからである。

側方滑走距離に関しては0, 0.5 mmおよび2 mmを設定した。0 mmはdirect closures⁴¹⁾ 0.5 mmと2 mmはexcursive closures⁴¹⁾を想定した。excursive closuresのうち、0.5 mmはごくわずかな滑走運動を伴って中心咬合位で閉口するchopping type⁴²⁾を想定し、2 mmは藍ら^{43,44)}の機能的側方限界運動距離の報告に基づいて設定した。なお、滑走運動の範囲は咀嚼側から中心咬合位とし、中沢の第5相に相当する中心咬合位から反対側にまで及ぶgrinding type⁴²⁾とは異なる設定とした。

2) 測定方法について

総義歯のように複雑な曲面を有する構造物の経時的なひずみ・応力挙動を解析するためには、ひずみゲージの種類および測定部位の性状を考慮する必要がある。よっ

図12 中心咬合位での開閉運動による義歯の変形 (F・B・O)

て、貼付部位は可及的に平面仕上げを施した上でゲージ長2 mmのロゼットゲージを貼付するよう配慮した。この結果、測定終了まで防水効果やゲージの接着等に何ら支障は生ぜず、ひずみゲージにまつわる問題が測定精度に与える影響については少ないものと考えられる。

試験速度に関しては、速度の増減がレジン床義歯の疲労強度に及ぼす影響を考慮した場合、咀嚼ストロークに近似している必要がある。義歯装着者の咀嚼ストロークは65~80回/分であり⁴⁵⁾、本試験条件78回/分とほぼ同じであることから速度条件は妥当と考えられる。なお、口腔内における年間の咀嚼運動回数は50万回に及ぶといわれ、これより本実験での30万回の繰返し荷重負荷は約6カ月間に相当するものと考えられる。

3. 測定結果について

解析結果より咬合接触様式および側方滑走距離の相違が義歯の変形に大きく影響を及ぼすことが明らかになったが、これは各咬合位において義歯床への咬合力の分散が各々異なるためと考えられる。そこで、各咬合位における義歯の動態を示し考察を行った。

3-1. 中心咬合位 (滑走距離=0 mm)

1) F・B・O: 図12はF・B・Oの中心咬合位での咬合接触の結果生じた義歯の変形を示している。この咬合接触位では、上顎義歯は外上方に向かう力 W_1, W_2, B_1, B_2 と内上方に向かう力 W_3, B_3 の合力を左右両側において受けており、これらの合力の方向は外上方に向かうものと推察される。つまり上顎義歯は歯槽頂部および歯槽堤頰側面を一次的ストレス負担面(支点)として曲げられ、その結果口蓋正中部において著明な引張ひずみが生じたものと考えられる。これは正中部では義歯が粘膜から離れる方向に変形していることを示している。こ

の引張ひずみに関しては村松¹⁷⁾、杉田¹⁶⁾の応力塗料法、新倉²²⁻²⁴⁾のひずみゲージ法による結果と同一であり、Matthews¹⁵⁾の口腔内での結果と一致する。しかし、Lambrecht³¹⁾の口腔内での結果と比較すると、後方部では全被験者において引張ひずみが認められた点では一致するが、前方部では引張ひずみと圧縮ひずみの両方認められており、本実験結果とは若干の相違を示した。これは側方滑走距離が増加すると圧縮ひずみが生ずることから、口腔内における咀嚼運動により義歯に負荷を加えた場合には、同一部位において滑走運動時には圧縮ひずみ、中心咬合位では引張ひずみが各々認められたものと解釈される。さらに被験者間で顎堤形態、粘膜の性状および咀嚼パターンにも相違があり、それらが義歯の機能に影響を及ぼしたものと考えられる。

一方、下顎義歯は内下方に向かう力 W_1' , W_2' , B_1' , B_2' と外下方に向かう力 W_3' , B_3' の合力を左右両側において受け、これらの合力の方向は内下方になるものと考えられる。しかし、上顎とは異なり下顎では歯槽頂部が狭く歯槽堤舌側面が急斜面であるため、義歯は負担能力の高い頬側および歯槽堤頬側斜面を支点とし水平的には歯列が外側方向に向かって広がり、前頭面的には人工歯が内傾斜する変形となると考えられ、正中部において著明な引張ひずみが生じたものと推察される。この引張ひずみに関しては新倉²⁵⁾も同様の測定結果を示している。また、ひずみゲージを貼付し、かつ左右大臼歯間の距離の増減を測定した Regli^{28, 29)}の報告でも同部に引張ひずみが生じ大臼歯間距離の増大する結果を示している。さらに Kydd³⁰⁾は顎堤の吸収の少ない被験者では、嚥下時に正中舌側部で引張ひずみが生じたことを報告しているが、嚥下時の咬合接触が中心咬合位付近であり⁴⁶⁾、移動しない加圧現象であることから本実験の結果と一致すると考えられる。

2) $L \cdot O : L \cdot O$ では、上顎においては $F \cdot B \cdot O$ と異なり頬側咬頭内斜面に作用する力がないため左右両側に加わる力の合力は一層歯槽頂部に向かう力となる。すなわち、負担能力の高い歯槽頂部が一次的ストレス負担面となり、この部を支点として義歯は曲げられた結果、口蓋正中部において引張ひずみが生じたものと考えられる。しかしながら、 $L \cdot O$ では $F \cdot B \cdot O$ と比較して咬合接触点間距離が短く力の方向も口蓋側に向かうため、義歯を曲げる力としては大きくならないものと推察される。それ故主ひずみの増加量が $F \cdot B \cdot O$ より少なく 30 万回においては有意に小さな値を示したものと考えられる。また、 $L \cdot O$ では主な圧負担面が歯槽頂部であり、歯槽堤頬側斜面上に加わる力が減少するため義歯の動揺、移動は相対的に少なくなるものと推察される。この移動に関して小出²⁷⁾も $L \cdot O$ の方が少ないことを報告している。また、久保田^{18, 19)}の報告では、作用する力が歯槽頂部より頬側である方がひずみ量が増大する結果を示しており、本研究結果と類似性がある。

一方、下顎義歯においても $L \cdot O$ では内下方に向かう力 W_1' , B_1' がいないため、合力は結果的に頬側および歯槽堤頬側面に垂直方向に作用する力となり、義歯はこれらの部位を支点として外側へ押し広げられた結果、正中部において引張ひずみが生じたものと推察される。この引張ひずみおよび最大せん断ひずみに関しては $L \cdot O$ が $F \cdot B \cdot O$ より有意に小さな値を示し経時的に両者間の差が増大する傾向が認められた。このように両者間に顕著な差がみられたのは、 $L \cdot O$ では $F \cdot B \cdot O$ より左右の咬合接触点間距離が短いことから、義歯を曲げる力が弱くなったためと考えられる。また、 $L \cdot O$ では咬合面に加わる力が咬合平面と比較的平行である負担能力の高い頬側と歯槽堤頬側斜面上に直接伝達されることから、それが義歯を安定させストレスがより均等に義歯床に分散し小さなひずみ量を示したものと思われる。

3-2. 側方滑走を伴う場合 (滑走距離=2mm)

1) $F \cdot B \cdot O$: 図 13 は $F \cdot B \cdot O$ の側方滑走運動の結果生じた義歯の変形を示している。この咬合接触位においては、上顎義歯作業側では外上方に向かう力 W_1 , W_2 を受け、平衡側では内上方に向かう力 B_3 を受けており、中心咬合位での咬合接触像とは大きく異なっている。すなわち、側方咬合位では作業側の咬合接触点数の方が多く、さらに力の方向は共に作業側に向かうことを示している。さて、作業側においては W_1 と W_2 の大きさと方向はほぼ同一であることから合力もこの方向と考えられるが、一方平衡側における力は側方調節彎曲によ

図 13 側方滑走運動による義歯の変形 ($F \cdot B \cdot O$)

り水平成分の大きい力となっている。この結果、本試験機上の荷重負荷のように左右両側に等荷重を加えた場合においても作業側では垂直成分の大きい力、すなわち義歯をより沈下させる力となり、平衡側では水平成分の大きい力、すなわち義歯に側方移動を起こさせる力になるものと考えられる。このような力の作用により義歯は作業側方向に回転を伴った側方移動を行うものと考えられる。そして、その際に作業側の歯槽堤頬側面が支点となり平衡側の力により曲げが生ずるため、口蓋正中部において圧縮ひずみが生じたものと考えられる。これらの部での圧縮ひずみは義歯が粘膜側に押しつけられる方向に変形していることを示しており、中心咬合位における変形とは全く異なる現象を示した。こうした現象は、口腔内においては作業側での咬合力が平衡側のそれより大きいことから⁴⁸⁾、より明確に示されるものと考えられ、内山^{49,50)}の報告と一致点が見出される。

一方、下顎義歯作業側では内下方に向かう力 W_1' 、 W_2' を受け、平衡側では外下方に向かう力 B_3' を受けており、これらは共に平衡側に向かう力となっている。したがって、下顎では平衡側の歯槽堤頬側面を支点として作業側の力により義歯が曲げられた結果、正中部において圧縮ひずみが認められたものと推察される。この圧縮ひずみは臼歯部歯列弓の狭窄、すなわち左右臼歯間距離の減少を示している。しかし、下顎では圧負担面が狭いため咬合面に伝達された力は義歯を移動させる力となりやすいこと、および作業側の力の水平成分と支点となる平衡側の力の垂直成分が小さいことから義歯を曲げる力としては弱く、その結果ひずみ量も上顎に比較して小さな値を示したものと推察される。

2) $L \cdot O : L \cdot O$ では、上顎義歯作業側においては W_2 のみが作用している。この力は舌側咬頭に作用するため作用方向は歯槽頂に向かい、主な一次ストレス負担面は歯槽頂部付近となる。一方、平衡側における力 B_3 は $F \cdot B \cdot O$ と同一である。したがって、曲げる力として作用する B_3 の水平成分は $F \cdot B \cdot O$ と $L \cdot O$ 間に差異はない。ところが、作業側におけるストレス負担面が $F \cdot B \cdot O$ では歯槽堤頬側面であるが、 $L \cdot O$ では歯槽頂部でありこれら支点までの距離が減少しているため $L \cdot O$ で曲げが生じにくくなるものと推察される。こうした理由により主ひずみおよび最大せん断ひずみが $F \cdot B \cdot O$ より小さな値を示したものと推察される。

一方、下顎義歯作業側では内下方に向かう力 W_2' のみが作用し、平衡側では外下方に向かう力 B_3' のみが作用している。したがって、 $L \cdot O$ においても平衡側のス

トレス負担域は $F \cdot B \cdot O$ と同一であり、この部を支点として作業側の力 W_2' により曲げが生じた結果、正中部に圧縮ひずみが認められたものと推察される。しかしながら、 $L \cdot O$ では作業側の力は舌側咬頭に働く力であることから $F \cdot B \cdot O$ と比較して平衡側の支点までの距離が減少し、義歯を曲げる力は弱くなるものと考えられる。これにより、唇側部では主ひずみが 30 万回において有意に $F \cdot B \cdot O$ より小さく、舌側部では最大せん断ひずみが全測定時において小さな傾向を示したものと推察される。

さて、滑走距離 2 mm は 0 mm より主ひずみが有意に小さな値を示した。その理由は側方滑走運動を側方咬合位から滑走後、中心咬合位においても咬合接触するように設定しているために生じた結果であると推察される。すなわち、側方滑走運動を伴う場合の主ひずみ量が側方咬合位における (－) 符号の圧縮ひずみと、中心咬合位における (+) 符号の引張ひずみという逆方向のひずみの加減の結果、小さな値を示したものと考えられる。しかし、このことは側方運動時には同一部位において圧縮ひずみと引張ひずみが共存する形となり、各々逆方向への曲げが瞬時に起きることを示している。よって、床材料の疲労という点では、むしろ側方滑走を伴う方が著明に大きくなるものと考えられる。そしてこのことは、最大せん断ひずみに関しては滑走距離 2 mm が 0 mm より口蓋正中前方部および下顎正中唇側部において有意に大きな値を示したことから十分に推察され、総義歯の正中破壊との因果関係を示すものと考えられる。

3-3. 側方滑走を伴う場合 (滑走距離=0.5 mm)

この滑走距離 0.5 mm では、主ひずみは各測定点において $F \cdot B \cdot O$ 、 $L \cdot O$ 共に引張ひずみを示したが、これは 2 mm と比較して滑走距離が 1/4 であることから、滑走運動時より中心咬合位での咬合接触による影響を強く受けているためと考えられる。しかし、主ひずみは 0 mm より小さな値を示し経時的に差が増大する傾向が認められ、かつ最大せん断ひずみは大きな値を示している。よってこれらの結果からわずかに 0.5 mm の滑走距離であっても側方滑走運動によって義歯の疲労現象が次第に増大するものと考えられる。

咬合接触様式別にみると、この条件下においてもひずみ量は $L \cdot O$ が $F \cdot B \cdot O$ より小さな値を示し、特に下顎義歯での最大せん断ひずみは有意に $L \cdot O$ が小さかった。これらの結果から義歯に付与する咬合接触様式としては $L \cdot O$ が望ましいものと考えられる。

さて、全咬合条件下においてひずみ量は 5～10 万回に

かけて大きく増加することが明らかになったが、これは口腔内においては義歯装着後 1~2 カ月で変形量が増大することを示している。したがって、臨床的にいわれる義歯の不適合が認められる時期より早期に義歯は変形し、不適合が生ずる可能性を示している。しかし、口腔内において義歯装着に伴う問題点、すなわち内部応力の緩和、人工歯の摩耗による咬合不調和、加熱重合レジンの寸法精度がもたらす義歯の不適合や床材料の疲労などの存在から義歯は比較的早期に変形が始まり、それが経時的に増大し、やがては臨床的に義歯の不適合として認知されるに至るようになると推察される。よって、最初に義歯不適合が観察される時期として 1~2 カ月後に咬合および適合性の再評価を行い適切な処置を施す⁵¹⁾ことは、総義歯機能を長期的展望に立ててみたとき、その回復と保持を考える上ですこぶる望ましい処置となると思われる。

VI. 結 論

本研究は、咬合接触様式と側方滑走距離が上下総義歯の変形の動向にいかなる影響を及ぼすかを究明するのが目的である。本実験にあたり口腔内条件をシミュレートできる咬合試験機を考案、試作し、長期観察を可能とした。ついでこの試験機を用いて咬合接触様式として Full Balanced Occlusion と Lingualized Occlusion の 2 種類を付与し、側方滑走距離として 0, 0.5 および 2 mm の 3 条件を設定した上下レジン床義歯を咬合させ、その負荷によって生じたひずみを測定し解析を行った。

その結果、以下の結論を得た。

1. 設定したすべての咬合条件下において、上下総義歯に生じた主ひずみ、最大せん断ひずみは経時的に増大する傾向を示した。また、ひずみ量は 5~10 万回にかけて大きく増加することが認められた。

2. 上下総義歯正中部において中心咬合位では引張ひずみ、側方滑走運動では圧縮ひずみが生ずることが認められ、咬合接触状態の相違が義歯の変形の動向に大きく影響を及ぼすことが明らかになった。

3. 最大せん断ひずみは、側方滑走距離の増加に伴い増大していく傾向が認められた。正中部での最大せん断ひずみの増大は、床用材料の疲労を一層進行させ破折に至る可能性を示唆するものと考えられる。よって、側方滑走距離が長い場合には床材料および厚さ等を十分考慮し、義歯床の強度増加策を講ずる重要性が示唆された。

4. 咬合接触様式別にみると、Lingualized Occlusion

が Full Balanced Occlusion よりひずみ量が小さく、かつ両者間の差が経時的に増大する傾向が認められた。この結果、総義歯の機能保持の点で、その変形程度とストレス分散の現象等から義歯に付与する咬合様式としては、Lingualized Occlusion が望ましいものと考えられる。

本論文の要旨は、第 74 回日本歯科補綴学会学術大会 (昭和 60 年 10 月)、ならびに昭和 61 年度北海道歯学会 (昭和 61 年 5 月) において発表した。

稿を終るに臨み、終始ご懇篤なご指導とご校閲を賜りました歯科補綴学第 1 講座 三木敬一教授に深甚なる謝意を表します。また、種々ご教示をいただいた、野谷健治講師に深く感謝の意を表します。あわせて、ご鞭撻をいただきました、川崎貴生助教授、ならびにご協力下さった教室員諸兄に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) Johnson, W. and Matthews, E.: Fatigue studies on some dental resins, *Br Dent J*, 86: 252~253, 1949.
- 2) Seltzer, S.: The penetration of microorganisms between the tooth and direct resin fillings, *J Am Dent Assoc*, 51: 560~566, 1955.
- 3) Braden, M.: The absorption of water by acrylic resins and other materials, *J Prosthet Dent*, 14: 307~316, 1964.
- 4) 亀田 務: 義歯床用メタクリル樹脂の曲げ試験法について, *歯理工誌*, 9 (17): 180~185, 1968.
- 5) 木村 博, 山口拓治, 他: 歯科用 P.M.M.A. 接着部の疲労特性に関する研究, *歯材器誌*, 37: 100~108, 1980.
- 6) Ruyter, I.E. et al.: Flexural properties of denture polymers, *J Prosthet Dent*, 43: 95~104, 1980.
- 7) 松村芳明: 義歯床用レジンの引張り疲労特性に関する基礎的研究, *補綴誌*, 27: 374~391, 1983.
- 8) 小山正宏, 横山健介: 総義歯患者 35 名の調査—治療 1 年後の患者意見—, *補綴誌*, 18: 32~34, 1974.
- 9) 細井紀雄, 森戸光彦, 他: 全部床義歯患者の予後に関する臨床的研究—装着 5 年後の調査—, *補綴誌*, 27: 913~921, 1983.
- 10) 細井紀雄, 森戸光彦, 他: 全部床義歯患者の予後に関する臨床的研究—装着 5~10 年の観察—第 1 法アンケートとリコール調査, *補綴誌*, 30: 840~847, 1986.
- 11) 平沼謙二, 太田 功, 他: 全部床義歯の術後観察 (その 1), *補綴誌*, 23: 654~659, 1979.
- 12) Hargreaves, S.A.: The Prevalence of Fractured Dentures, *Br Dent J*, 126: 451~455, 1969.

- 13) Bergman, Bo. and Carlsson, G.E. : Review of 54 Complete Denture Wears Patients' Opinions 1 Year After Treatment, *Acta Odontol Scand*, 30 : 399~414, 1972.
- 14) Tallgren, A. : The continuing reduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers : A mixed longitudinal study covering 25 years, *J Prosthet Dent*, 27 : 120~132, 1972.
- 15) Matthews, E. and Wain, E.A. : Stresses in Denture Bases, *Br Dent J*, 100 (7) : 167~171, 1956.
- 16) 杉田英雄 : 応力塗料による義歯床の応力分布, *歯理工誌*, 8 (15) : 126~145, 1967.
- 17) 村松篤良, 塩川延洋, 中原一郎 : 全部床義歯の応力分布について, *歯材研報*, 1 (2) : 33~41, 1954.
- 18) 久保田英雄 : 有床義歯における人工歯と歯槽頂との位置関係について (その1), *歯科学報*, 59 : 377~384, 1959.
- 19) 久保田英雄 : 有床義歯における人工歯と歯槽頂との位置関係について (完) *歯科学報*, 59 : 490~496, 1959.
- 20) 高山義明 : 上顎レジン全部床義歯の薄床化に関する研究 (第2報) 口蓋形態の差異がレジン薄床義歯に及ぼす影響について, *歯理工誌*, 21 : 48~63, 1980.
- 21) 永井正洋, 宮入裕夫, 村松篤良 : ホログラフィによる義歯床の変位測定, *医器材研報*, 10 : 77~82, 1976.
- 22) 新倉久市 : 総義歯の変形・破折現象における構造力学的研究 (第1報) 咬合堤状モデルによる吟味試験, *補綴誌*, 27 : 101~113, 1983.
- 23) 新倉久市 : 総義歯の変形・破折現象における構造力学的研究 (第2報) 上顎総義歯におけるひずみ・応力分布の挙動, *補綴誌*, 27 : 114~128, 1983.
- 24) 新倉久市 : 総義歯の変形・破折現象における構造力学的研究 (第3報) 上顎総義歯口蓋面におけるひずみ・応力分布と, 義歯適合性の及ぼす影響について, *補綴誌*, 27 : 215~229, 1983.
- 25) 新倉久市 : 総義歯の変形・破折における構造力学的研究 (第4報) 下顎総義歯におけるひずみ・応力分布と, 義歯適合性の及ぼす影響について, *補綴誌*, 27 : 230~243, 1983.
- 26) 三田幸史 : 床用レジンの疲れ強さに及ぼす切欠き効果, 第三報複合化による切欠き部の補強効果, *歯理工誌*, 17 (38) : 79~90, 1976.
- 27) 小出 馨 : 総義歯の咬合接触様式に関する実験的研究, *歯学*, 72 (2) : 231~265, 1984.
- 28) Regli, C.P. and Kydd, W.L. : A Preliminary Study of The Lateral Deformation of Metal Base Dentures in Relation to Plastic Base Dentures, *J Prosthet Dent*, 3 : 326~330, 1953.
- 29) Regli, C.P. and Kydd, H.L. : Denture Base Deformation During Function, *J Prosthet Dent*, 4 : 548~554, 1954.
- 30) Kydd, W.L. : Complete Denture Base Deformation with Varied Occlusal Tooth Form, *J Prosthet Dent*, 6 : 714~718, 1956.
- 31) Lambrecht, J.R. and Kydd, W.L. : A Functional Stress Analysis of The Maxillary Complete Denture Base, *J Prosthet Dent*, 12 : 865~872, 1962.
- 32) 増原英一, 他 : 義歯床用軟質フッ素ポリマーに関する研究, *歯理工誌*, 20 : 115~120, 1979.
- 33) Smith, D.C. : The Acrylic Denture Mechanical Evaluation Mid-Line Fracture, *Br Dent J*, 110 (8) : 257~267, 1961.
- 34) Beyli, M.S. and Fraunhofer, A. : An analysis of causes of fracture of acrylic resin dentures, *J Prosthet Dent*, 46 : 238~241, 1981.
- 35) Cornell, J.A. et al. : A method of comparing the wear resistance of various materials used for artificial teeth, *J Am Dent Assoc*, 54 : 608~614, 1957.
- 36) Harrison, A. and Lewis, T.T. : The Development of An Abrasion Testing Machine for Dental Materials, *J Biomed Mater Res*, 9 : 341~353, 1975.
- 37) 平沢 忠, 増原英一, 地挽英彦 : MH 衝撃滑走式摩耗試験機の試作, *歯理工誌*, 15 (31) : 96~100, 1974.
- 38) 辻 喜之 : 人工臼歯の咬耗に関する基礎的研究, *補綴誌*, 26 : 63~70, 1982.
- 39) Pound, E. and Murrell, G.A. : An introduction to denture simplification. Phase I, *J Prosthet Dent*, 26 : 570~580, 1971.
- 40) Pound, E. and Murrell, G.A. : An introduction to denture simplification. Phase II, *J Prosthet Dent*, 29 : 598~607, 1973.
- 41) Sheppard, S.M. and Sheppard, I.M. : Incidence of lateral excursions during function with complete dentures, *J Prosthet Dent*, 26 : 258~265, 1971.
- 42) 西尾公一, 宮内修平, 丸山剛郎 : 咀嚼運動に関する臨床的研究—咬合様式との関連について—, *補綴誌*, 30 : 806~816, 1986.
- 43) 藍 稔 : 切歯点部における咀嚼運動の解析, *補綴誌*, 6 : 164~200, 1962.
- 44) 伊藤克弥 : ヒトの咀嚼運動経路の分析—正常有歯顎者および総義歯装着者について—, *補綴誌*, 29 : 657~674, 1985.
- 45) Yurkstas, A. and Curby, W.A. : Force Analysis of Prosthetic Appliances During Function, *J Prosthet Dent*, 3 : 82~87, 1953.
- 46) Pameijer, J.H.N. et al. : Intraoral occlusal telemetry, Part IV. Tooth contact during swallowing, *J Prosthet Dent*, 24 : 396~400, 1970.
- 47) 中沢 勇 : 全部床義歯学, 増補版, 永末書店, 東京, 163, 1976.
- 48) 深水皓三 : 総義歯の第1大臼歯部における咀嚼力および咬

- 合力に関する研究, 補綴誌, 17: 491~516, 1974.
- 49) 内山洋一: 下顎運動時における全部床義歯の動揺について, 第 1 報. 頭部 X 線規格写真による研究, 補綴誌, 9: 40~63, 1965.
- 50) 内山洋一: 下顎運動時における全部床義歯の動揺について, 第 2 報. 電氣的記録装置による研究, 補綴誌, 9: 64~82, 1965.
- 51) 野谷健治, 三木敬一: リライニングに関する基礎的研究 (第 1 報) transverse vending tests による各リライニング法の比較検討, 補綴誌, 26: 548~559, 1982.