原 著

口蓋粘膜のクリープの解析

——回復時の粘膜の挙動について——

平 野 滋 三

東京医科歯科大学歯学部高齢者歯科学講座（指導：長尾正憲教授）

（1991年12月18日 受付）

Study on Analysis of Viscoelastic Property of Palatal Mucoperiosteum

——About the Creep Recovery——

Shigezo Hirano

Department of Geriatric Dentistry, Faculty of Dentistry,

Tokyo Medical and Dental University

(Director : Prof. Masanori Nagao)

The purpose of this study was to analyze the creep phenomena of the palatal mucosa under pressure and after pressure release. The measuring device consisted of the control box, which regulated the loading force by air pressure, and the pick-up, which was fixed to the teeth and applied the load onto the mucosa, detected the displacement of the mucosa.

The creep was analyzed by the Voigt 4 element model. The ratio of the recovery ($S1'/S1$, $S2'/S2$) and the recovery percentage were analyzed on the creep after the pressure release and evaluated from the point of expressing exactly the viscoelastic recovery.

The results were as follows :

1. Both the amount of the displacement under pressure and the recovery of the palatal mucosa showed the least value at the center site and at the other sites less at the distal site than the mesial site.
2. The ratio of $S1'/S1$ was about 0.5 at all sites. On the other hand, the ratio of $S2'/S2$ showed values higher than 1 except at the center site and was significantly different among the other sites.
3. It was pointed out that the recovery percentage was more suitable than the ratio of the recovery to explain the viscoelastic recovery of the palatal mucosa.

I. 緒 言

有床義歯を用いた補綴治療において、義歯床下および義歯周囲組織の性質を把握することは重要である。特に咬合圧を負担する義歯床下粘膜の挙動は義歯を製作する過程において義歯の設計、ならびに印象方法、印象材などの選択の際に考慮さ

れるべきである。さらに、高齢化が一段と進んだことにより、義歯装着者が増加し、義歯装着者の高齢化も進む¹⁾中で、顎堤が著しく吸収した症例では失われた粘膜のクッションを補うために軟質裏装材の使用頻度が増えており、種々の粘弾性をもつ軟質裏装材の研究、開発も行われている^{2~4)}。それら軟質裏装材に与えるべき性質を探るうえで

も、顎堤粘膜の物理的挙動を明らかにすることは必須である。

従来より軟組織を粘弾性体として捉えて粘弾性が解析されている⁵⁻⁹⁾が、この方法は粘膜に強制的な力を負荷した際の物理的性質を物理定数により定量化できる点ですぐれている。粘弾性解析には大別すると二つの方法がある。そのひとつは応力を粘弾性体に一定の方向で加えて粘弾性を調べる静的粘弾性解析であり、他方は周期的応力を粘弾性体を与えて、その応答を調べる動的粘弾性解析である。

粘膜に与えた応力を除去した後、粘膜の変形は瞬時にもとの状態に回復するのではなく、応力を与えた時間よりも長い時間をかけて徐々に戻るものである。さらに回復には成人に比べて老人のほうが長い時間を要するという報告もある⁶⁾。これらのことから、粘膜においては除重時の回復も含めたクリープを解明する必要があると思われる。この静的粘弾性解析方法はクリープ測定と呼ばれる。動的方法に比べて測定時間が長いという欠点はあるが、粘性率がはるかに大きく検出される¹⁰⁾ので、粘性の性質も含めての粘弾性解析には適していると思われる。

今回、著者はまず口腔粘膜のクリープ測定装置について検討し、固定源を口腔外に求めた従来の大型の測定装置を改善し、固定源を歯列に求める装置を試作した。ついでこの装置を用いて、荷重を負荷および除去した際のクリープを測定した。そして特に除重時の粘膜の回復現象を明らかにし、解析方法についても検討を加えた。

II. 研究方法

1. 実験装置

1) 荷重負荷および変位計測装置

今回計測に用いたシステムは、粘膜への荷重を制御するコントロール部と、粘膜を加圧し、同時に粘膜の変位を検出するブランジャーを内部にもつピックアップ部とからなる。図1にシステムのブロックダイアグラム、図2に装置を、図3、4にピックアップの構造を示す。ピックアップは外

図1 システムのブロックダイアグラム

図2 測定装置全景

図3 ピックアップ

図4 ピックアップの構造

径 10 mm、長さ 28 mm のステンレス製の円筒のハウジングに、直径 2 mm、長さ 4 mm のステンレス製プランジャーをもつ可動部と差動トランス（新光電子製，A8-2，可動範囲 4 mm）が組み込まれたものである。可動部は総重量 1.1 g で、ハウジング内部の軸受け（オイレス工業製，オイレスドライメットブッシュ）を滑走し、差動トランスがその変位を検出する。

粘膜に加えられる荷重は空気圧により制御される。エアーコンプレッサー（東芝製，TOSCON）から圧縮空気がコントロールボックス内に送られ、低压レギュレーター，高压レギュレーター（SMC 製，直動精密減圧弁，ARP-3000-02BG）にはいる。この 2 個のレギュレーターはプランジャーが粘

膜に接するために必要な最少空気圧と，粘膜に負荷を加える空気圧とを規定するために設けられている。低压空気の流出は低压弁，高压空気の流出は高压弁（小金井製作所製，角型直接作動方式，050E1）により制御される。さらに無圧弁（小金井製作所製，角型直接作動方式，0504E1）の設置により，空気がそれぞれの弁に逆流しないように，そして除重時の圧の解放が瞬時に行われるように設計されている。

2) 記録装置

増幅器（新光電子製，PA-2）により，プランジャーの最大変位 4 mm に対する差動トランスからの出力電圧を 10V に増幅した後，14ビット A/D コンバータ（TEAC 製，DR-F1）を介して，サンプリング周波数 5 Hz でデジタル記録し，得られたデータをパーソナルコンピュータ（NEC 製，PC-9801DA）に取り込み，演算処理を行った。

3) ピックアップの固定

粘膜の変位を正確に計測するためには計測部位とピックアップを相対的に固定しなければならない。被験者の上顎模型上で常温重合レジン（而至陶歯工業社製，REPAIRSIN，No. 5）を用いて咬合面まで覆う口蓋床を製作した。口蓋床作製にあたり，まず，模型の口蓋粘膜部にシートワックス（＃30）を介在させ，かつ測定部位相当部にピックアップのハウジングと同じ径で高さ 5 mm のリングを固定した後，常温重合レジンに筆積法により厚さ約 5 mm となるように盛り上げた。レジン重合後にリングを取り外し，ピックアップ固定用のガイドホールとした。実験に際しては，このガイドホールにピックアップを挿入後，口蓋床を歯列に手指圧により固定した（図 5）。

2. 被験者および測定部位

被験者は，健全歯列を有し，口蓋粘膜に臨床的異常が認められない男子 8 名である（26～29 歳，平均 27.4 歳）。

測定部位としては，左右 hamular notch 間の中点と切歯乳頭を結んだ線を正中線とし，この線と歯牙とを基準にして以下に示す 6 点を選択した（図 6）。

- 1 : 切歯乳頭
- 2 : 左右第 2 小臼歯舌側咬頭頂を結んだ線と正中線の交点と右側第 2 小臼歯舌側咬頭頂を結んだ線分の midpoint

図 5 測定風景

図 6 測定部位

線分の midpoint

3 : 左右第 2 小臼歯舌側咬頭頂を結んだ線と正中線の交点と左側第 2 小臼歯舌側咬頭頂を結んだ線分の midpoint

4 : 正中線と左右第 1 大臼歯近心舌側咬頭頂を結んだ線の交点

5 : 左右第 2 大臼歯近心舌側咬頭頂を結んだ線と正中線の交点と右側第 2 大臼歯近心舌側咬頭頂を結んだ線分の midpoint

6 : 左右第 2 大臼歯近心舌側咬頭頂を結んだ線と正中線の交点と左側第 2 大臼歯近心舌側咬頭頂を結んだ線分の midpoint

3. 測定条件

今回の測定条件は以下に示すとおりである。

1) プランジャーの負荷面の形態：直径 2 mm の平坦な円

2) 荷重量：100 g

3) 荷重時間：30 秒

4) 荷重方向：粘膜表面に可及的に垂直

5) 測定時間：荷重時間 30 秒，除重時間 2 分，計 2 分 30 秒

6) 測定間隔：24 時間以上

7) 測定回数：10 回

4. 解析方法

1) 荷重時のクリープ挙動について

Voigt 型 4 要素モデルによる解析方法により解析した (図 7)。以下にその解析式を示す。

図 7 クリープ曲線の解析

$$S = S1 + S2 + S3$$

$$= F/E1 + F \times (1 - e^{-t/\lambda})/E2 + F \times t/\eta3$$

$$= S(t)$$

S : 歪み no dimension

F : 応力 dyne/cm²

E1, E2 : 弾性率 dyne/cm²

$\eta1, \eta2$: 粘性率 poise

t : 時間 sec

$\lambda = \eta2/E2$: 遅延時間 sec

S1 : 瞬間弾性歪み

S2 : 遅延弾性歪み

S3 : 純粘性流動歪み

今回の解析では変位量を歪みとみなし, S を総変位量, S1 を瞬間弾性変形量, S2 を遅延弾性変形量, S3 を純粘性流動変形量とし, 応力をプランジャーの面積と荷重量から算出した単位面積あたりの荷重量とした。

2) 除重時の回復について

(1) 荷重時の変位量に対する回復量の比

図 7 に示すように荷重時と同様に S', S1', S2', S3' をそれぞれ計測した。

S' : 総回復量

S1' : 瞬間弾性的な回復量

S2' : 遅延弾性的な回復量

S3' : 粘性的な回復量

荷重時の変位量との比をそれぞれ変位回復比 S'/S, 瞬間弾性比 S1'/S1, 遅延弾性比 S2'/S2, また遅延弾性比の経時的変動の観察のために荷重時と除重時における遅延時間の比を遅延比 λ'/λ とし, 口蓋粘膜を表 1 のように 4 群に分類し, 4 群における荷重時の変位に対する除重時の回復についての検討を行った。

(2) 荷重時と除重時のクリープの総括的な解析方法について

荷重時と除重時のクリープを総括して表現できるパラメーターを得るために, 荷重時の解析式より次式を導いた。

$$S' = S1' + S2' + S3' \\ = F0(t') \times \{1/E1(1 - e^{-t'/\lambda})/E2 + t'/\eta3\}$$

表 1 測定部位の分類

切歯乳頭部	口蓋側方部前方部		口蓋中央部	口蓋側方部後方部	
部位 1	部位 2	部位 3	部位 4	部位 5	部位 6

図 8 回復率の経時的変動

$$= S'(t')$$

$$F0(t') = S'(t') / \{1/E1 + (1 - e^{-t'/\lambda})/E2 + t'/\eta3\}$$

$$= F \times \{S'(t')/S(t')\}_{t'=t-t_0} \quad (t > t_0)$$

S'(t') : 回復量

F0(t') : 回復指数

t' = t - t0 : 回復時間

t0 : 荷重除去時刻

F0(t') は導出した数式から荷重開始後 t' 秒の変位量に対する除重開始後 t' 秒の回復量の割合に荷重 F を乗じたものである。そこで F0(t') を回復指数, S'(t')/S(t') を回復率とした。荷重が一定の場合に回復指数の値を変化させる回復率の経時的変動(図 8)の中で特徴を表す項目として, S'(0)/S(0), ピーク値, ピークタイム (ピーク値を示す時間) および S'(30)/S(30) を選択し, 4 群間で比較した。なお, S'(0)/S(0) および S'(30)/S(30) は瞬間弾性比, 変位回復比である。

5. 上顎口蓋部粘膜厚さの測定

クリープ測定にさきだち, 測定部位の粘膜厚さを測定した。測定には B モード 法超音波診断装置¹¹⁾を用いた。得られた画像を石鍋¹²⁾の方法に準

じ、ビデオコピープロセッサで写真に複写し、写真上で幅 10 mm の ROI (関心領域: region of interest) を設定し、デジタイザ (オスコン製, Gradimaster A3-30) で ROI 内の平均粘膜厚さを算出した。

Ⅲ. 研究結果

図 9 にクリープ曲線の 1 例を、表 2-a, b に各被験者の測定値ならびに、口蓋粘膜厚さを示す。

1. 荷重時の変位量と除重時の回復量について

1) 荷重時の変位量

各変位量の平均、標準偏差を以下に示す。

S は 0.99 ± 0.38 mm (最大値 1.66 最小値 0.34) であった。

S1 は 0.62 ± 0.32 mm (最大値 1.27 最小値 0.15) であった。

S2 は 0.21 ± 0.06 mm (最大値 0.33 最小値 0.07) であった。

S3 は 0.15 ± 0.04 mm (最大値 0.26 最小値 0.05) であった。

2) 除重時の回復量

S' は 0.61 ± 0.28 mm (最大値 1.10 最小値 0.12) であった。また S に比べて小さい値を示した ($P < 0.01$)。

S1' は 0.33 ± 0.16 mm (最大値 0.72 最小値 0.05) であった。また S1 に比べて小さい値を示した ($P < 0.01$)。

S2' は 0.31 ± 0.14 mm (最大値 0.57 最小値 0.05) であった。また、S2 に比べて大きい値を示した

図 9 記録されたクリープ曲線

表 2-a 各被験者の測定値

被験者		粘膜厚さ		S		S1		S2		S3		DR		S'		S1'		S2'		S3'	
		測定部位	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	
A	1	1.92	0.91	0.09	0.56	0.07	0.21	0.03	0.14	0.01	0.08	0.06	0.70	0.09	0.27	0.07	0.37	0.03	0.09	0.04	
	2	2.17	1.02	0.20	0.65	0.16	0.22	0.04	0.15	0.02	0.12	0.09	0.79	0.10	0.32	0.09	0.47	0.04	0.04	0.03	
	3	2.56	1.25	0.06	0.87	0.05	0.23	0.02	0.14	0.01	0.26	0.06	0.71	0.11	0.42	0.08	0.37	0.09	0.06	0.06	
	4	1.17	0.44	0.03	0.21	0.02	0.12	0.01	0.11	0.01	0.16	0.02	0.21	0.03	0.09	0.01	0.09	0.02	0.04	0.01	
	5	2.44	1.33	0.08	0.88	0.06	0.28	0.02	0.17	0.01	0.19	0.05	0.87	0.14	0.38	0.12	0.50	0.08	0.06	0.05	
	6	2.59	0.81	0.03	0.39	0.03	0.22	0.01	0.21	0.01	0.28	0.05	0.38	0.04	0.25	0.05	0.18	0.01	0.02	0.02	
B	1	1.56	1.05	0.10	0.63	0.07	0.23	0.02	0.19	0.01	0.22	0.04	0.74	0.10	0.35	0.08	0.42	0.07	0.03	0.02	
	2	2.5	0.98	0.06	0.60	0.04	0.20	0.03	0.18	0.01	0.21	0.07	0.59	0.10	0.34	0.08	0.33	0.03	0.02	0.02	
	3	2.57	1.23	0.06	0.75	0.05	0.29	0.01	0.18	0.01	0.30	0.05	0.70	0.08	0.41	0.08	0.34	0.05	0.05	0.04	
	4	1.19	0.61	0.02	0.31	0.02	0.15	0.02	0.15	0.02	0.20	0.01	0.30	0.03	0.20	0.03	0.14	0.01	0.01	0.02	
	5	1.8	1.64	0.08	1.23	0.08	0.29	0.06	0.11	0.02	0.15	0.09	1.10	0.19	0.63	0.10	0.55	0.11	0.09	0.07	
	6	1.79	0.87	0.06	0.52	0.05	0.22	0.02	0.13	0.01	0.18	0.07	0.57	0.07	0.29	0.06	0.27	0.04	0.05	0.04	
C	1	2.2	0.94	0.06	0.55	0.06	0.19	0.04	0.20	0.03	0.17	0.07	0.67	0.12	0.36	0.07	0.33	0.08	0.05	0.03	
	2	2.18	1.18	0.10	0.81	0.09	0.19	0.03	0.18	0.02	0.21	0.08	0.78	0.17	0.48	0.10	0.42	0.07	0.01	0.02	
	3	2.62	1.25	0.06	0.79	0.04	0.20	0.08	0.26	0.09	0.29	0.04	0.80	0.13	0.44	0.08	0.43	0.07	0.03	0.04	
	4	1.24	0.37	0.04	0.17	0.01	0.10	0.02	0.10	0.01	0.14	0.03	0.16	0.05	0.08	0.02	0.08	0.03	0.03	0.01	
	5	1.72	0.65	0.06	0.33	0.05	0.18	0.03	0.14	0.02	0.17	0.03	0.40	0.07	0.20	0.04	0.21	0.04	0.03	0.01	
	6	1.98	0.99	0.09	0.66	0.06	0.18	0.02	0.15	0.02	0.21	0.06	0.60	0.05	0.35	0.05	0.30	0.06	0.04	0.05	
D	1	2.16	1.11	0.09	0.68	0.07	0.23	0.05	0.20	0.01	0.25	0.10	0.72	0.11	0.41	0.09	0.40	0.05	0.05	0.08	
	2	1.85	1.45	0.08	0.99	0.08	0.27	0.02	0.18	0.01	0.33	0.07	0.81	0.15	0.50	0.09	0.43	0.10	0.06	0.07	
	3	2.34	0.98	0.12	0.64	0.12	0.19	0.03	0.16	0.02	0.27	0.10	0.53	0.09	0.35	0.08	0.24	0.03	0.05	0.02	
	4	1.58	0.33	0.04	0.15	0.02	0.12	0.01	0.07	0.02	0.13	0.04	0.15	0.02	0.05	0.01	0.07	0.01	0.03	0.01	
	5	1.87	0.53	0.04	0.24	0.03	0.16	0.02	0.13	0.02	0.15	0.02	0.28	0.05	0.16	0.04	0.17	0.01	0.01	0.01	
	6	2.47	0.63	0.04	0.28	0.03	0.18	0.02	0.16	0.02	0.21	0.03	0.32	0.05	0.19	0.04	0.16	0.02	0.02	0.02	

(mm)

表 2-b 各被験者の測定値

被験者		粘膜厚さ		S		S1		S2		S3		DR		S'		S1'		S2'		S3'	
		測定部位		MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
E	1	2.18	0.97	0.06	0.55	0.04	0.25	0.03	0.17	0.02	0.19	0.05	0.66	0.08	0.26	0.05	0.37	0.03	0.08	0.03	
	2	2.66	1.34	0.06	0.88	0.05	0.25	0.02	0.21	0.01	0.13	0.04	0.88	0.12	0.52	0.08	0.48	0.07	0.06	0.04	
	3	2.87	1.20	0.08	0.84	0.07	0.21	0.02	0.15	0.01	0.22	0.06	0.74	0.13	0.36	0.09	0.32	0.07	0.08	0.05	
	4	1.36	0.37	0.04	0.17	0.01	0.07	0.01	0.10	0.01	0.14	0.03	0.19	0.02	0.08	0.02	0.11	0.01	0.01	0.01	
	5	2.12	0.66	0.03	0.29	0.02	0.20	0.03	0.18	0.02	0.25	0.05	0.29	0.04	0.19	0.03	0.15	0.02	0.02	0.01	
	6	2.27	0.73	0.07	0.30	0.04	0.24	0.03	0.19	0.01	0.23	0.05	0.34	0.03	0.21	0.02	0.17	0.02	0.04	0.02	
F	1	2.02	1.03	0.09	0.66	0.08	0.22	0.03	0.16	0.02	0.16	0.08	0.83	0.12	0.36	0.05	0.43	0.11	0.05	0.05	
	2	1.97	1.36	0.06	0.86	0.05	0.29	0.06	0.21	0.02	0.30	0.10	0.90	0.16	0.50	0.13	0.50	0.11	0.03	0.03	
	3	2.15	1.56	0.07	1.27	0.05	0.21	0.01	0.08	0.01	0.35	0.11	1.01	0.10	0.57	0.06	0.41	0.13	0.16	0.10	
	4	1.75	0.34	0.03	0.18	0.02	0.11	0.03	0.05	0.02	0.19	0.04	0.12	0.02	0.06	0.02	0.05	0.01	0.02	0.01	
	5	1.54	0.65	0.01	0.34	0.01	0.17	0.01	0.13	0.01	0.19	0.03	0.38	0.04	0.21	0.03	0.18	0.03	0.04	0.02	
	6	1.49	0.88	0.04	0.56	0.04	0.18	0.02	0.14	0.02	0.15	0.03	0.61	0.07	0.31	0.04	0.30	0.07	0.08	0.06	
G	1	2.56	1.41	0.07	0.89	0.09	0.30	0.03	0.21	0.02	0.18	0.07	1.09	0.15	0.51	0.10	0.57	0.14	0.08	0.08	
	2	2.98	1.58	0.09	1.18	0.09	0.25	0.01	0.15	0.01	0.29	0.12	0.95	0.15	0.72	0.09	0.45	0.12	0.20	0.06	
	3	2.55	1.38	0.10	1.02	0.09	0.22	0.02	0.14	0.02	0.27	0.06	0.79	0.11	0.43	0.06	0.35	0.08	0.16	0.08	
	4	1.57	0.49	0.02	0.25	0.02	0.16	0.01	0.07	0.01	0.18	0.03	0.24	0.03	0.11	0.02	0.12	0.02	0.03	0.02	
	5	2.99	1.35	0.07	0.85	0.05	0.33	0.02	0.17	0.01	0.21	0.07	0.80	0.11	0.43	0.06	0.38	0.08	0.14	0.05	
	6	3.07	1.56	0.10	1.15	0.10	0.29	0.03	0.12	0.03	0.18	0.11	1.01	0.16	0.52	0.12	0.43	0.18	0.20	0.15	
H	1	1.29	0.97	0.06	0.55	0.04	0.25	0.03	0.17	0.02	0.19	0.05	0.66	0.08	0.28	0.05	0.37	0.03	0.08	0.03	
	2	3.45	1.66	0.09	1.27	0.08	0.22	0.01	0.17	0.01	0.29	0.09	1.04	0.19	0.54	0.12	0.44	0.15	0.24	0.15	
	3	3.67	1.20	0.08	0.84	0.07	0.21	0.02	0.15	0.01	0.22	0.06	0.74	0.13	0.42	0.09	0.32	0.07	0.08	0.05	
	4	1.47	0.39	0.05	0.19	0.03	0.12	0.02	0.08	0.02	0.17	0.04	0.18	0.03	0.09	0.02	0.08	0.02	0.02	0.01	
	5	2.67	0.87	0.04	0.48	0.04	0.22	0.01	0.17	0.01	0.21	0.03	0.49	0.08	0.29	0.06	0.21	0.03	0.06	0.03	
	6	2.45	0.82	0.05	0.41	0.04	0.26	0.02	0.15	0.01	0.20	0.03	0.44	0.07	0.25	0.05	0.19	0.02	0.06	0.03	

(mm)

(mm)

図10 荷重時の変位量

(P<0.01)。

S3' は 0.06 ± 0.05 mm (最大値0.24最小値0.01) であった。また、S3に比べて小さい値を示した (P<0.01)。

DR (残留歪み) は 0.21 ± 0.06 mm (最大値0.35最小値0.08) であった。

図10, 11に示すように荷重時の変位量ではS1, 除重時の回復量ではS2', S1'の占める割合が大きかった。

3) 荷重時および除重時における各測定値の測定部位間の差について

表3に荷重時の各測定値の部位間の平均値の差

図11 除重時の回復量

表3 荷重時の各測定値の測定部位間の差

測定部位	S						S 1						S 2						S 3					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	—	*	*	*			—	*	*	*			—			*			—			*	*	
2	—	—		*		*	—	—		*		*	—	—		*			—	—		*	*	
3	—	—	—	*		*	—	—	—	*		*	—	—	—	*			—	—	—	*		
4	—	—	—	—	*	*	—	—	—	—	*	*	—	—	—	—	*	*	—	—	—	—	*	*
5	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(* : $P < 0.05$)

の検定の結果を示す。すべての測定値において部位4と他の部位の間に有意差が認められた。またSとS1について有意差が認められた部位が一致し、S2に関しては部位4と他のすべての部位の間に有意差が認められ、S3に関しては部位4以外では、部位5と部位1、部位2との間に有意差が認められた。口蓋側方部の左右対称の部位2と部位3、部位5と部位6はすべての測定値に関して有意差が認められなかったが、S、S1、S3に関して部位2、3と部位5、6の間に有意差が認められるものがあった。

表4にそれぞれの除重時の各測定値とDRの部位間の平均値の差の検定の結果を示す。部位4に関してS'、S1'、S2'においては他のすべての部位

との間に有意差が認められるがS3'については部位1と部位3との間においてのみ有意差が認められた。また部位1はS1'に関してのみ部位2との間に有意差が認められた。口蓋側方部の左右対称部位において部位2と部位3の間にS2'に関してのみ有意差が認められた。荷重時の結果と比較すると、口蓋側方部に関してS2では部位2、3と部位5、6で有意差が認められなかったのに対し、S2'では部位2と部位5、部位6、そして部位3と部位6の間に有意差が認められた。

DRは有意差が認められたのは部位2と部位3に関するものが多く、他の部位において有意差が認められたのは部位4と部位6の間においてのみであった。

表 4 除重時の各測定値の部位間の差

測定部位	S'						S1'						S2'						S3'						DR					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	—			*	*		—	*		*			—			*	*		—			*			—			*	*	
2	—	—		*	*	*	—	—		*	*	*	—	—	*	*	*	*	—	—					—	—		*	*	*
3	—	—	—	*	*		—	—	—	*	*	*	—	—	—	*	*	*	—	—	—	*			—	—	—	*	*	*
4	—	—	—	—	*	*	—	—	—	—	*	*	—	—	—	—	*	*	—	—	—				—	—	—	—	*	*
5	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—		—	—	—	—	—		—	—	—				—	—	—	—		

(* : $P < 0.05$)

図12 荷重時の変位に対する除重時の回復

以上の結果をまとめると、荷重時、除重時とも各測定値は部位4が最小値をとることが多かった。またS, S1, S3, S', S1', S2'およびDRに関して部位2, 3と部位5, 6で有意差が認められた。

2. 荷重時の変位に対する除重時の回復について

1) 変位回復比, 瞬間弾性比, 遅延弾性比, 遅延比による検討

変位回復比, 瞬間弾性比, 遅延弾性比ならびに遅延比について, 被験者8名の平均値を図12に, 分散分析結果を表5に示す。

変位回復比は 0.60 ± 0.08 (最大値0.81 最小値0.37) であり, 部位4が最も小さく, 部位1が最も大きく, 後方に行くにしたがって小さくなる傾向を示した。

瞬間弾性比は 0.53 ± 0.04 (最大値0.71 最小値

表 5 4 群間の分散分析結果

変位回復比	瞬間弾性比	遅延弾性比	遅 延 比
*		*	

(* : $P < 0.05$)

0.34) であり, 除重時の瞬間的な回復は荷重時の瞬間弾性変形に比較して約0.5を示した。

遅延弾性比は 1.43 ± 0.40 (最大値2.42 最小値0.55) であった。部位4を除きいずれも1以上を示したが, 部位2, 3より部位5, 6のほうが小さな値を示した。

遅延比は 1.02 ± 0.08 (最大値1.72 最小値0.53) であり, 測定部位間でそれほど大きな変動は認められなかった。

また, 変位回復比, 遅延弾性比に関して各群間

に有意に差が認められたが、瞬間弾性比、遅延比に関して有意差が認められなかった。

2) 回復率 $S'(t')/S(t')$ による検討

回復率のピーク値を図13に示す。部位4が最も小さな値を示した。また、Kruskal-Wallis 検定

図13 回復率のピーク値

図14 回復率のピークタイム

の結果、4群の間で有意差が認められた。

ピークタイムを図14に示す。部位3が最も大きな値を示したが、ばらつきが大きく、平均値の差の検定の結果、部位4と部位5、6の間のみで有意差が認められた。

3. 算出した物理定数と回復指数

表6、7に算出した物理定数と回復指数を示す。

IV. 考 察

1. 研究意義

従来より口腔粘膜の物理的性状の定量化については、さまざまな方法による研究が報告されてきた。粘膜の被圧変位性を探る目的で、Kantrowicz¹³⁾、Münzesheimer¹⁴⁾、Pfeiffer¹⁵⁾、Boucher¹⁶⁾、Körber¹⁷⁾らは義歯床、あるいは咬合床を用いて粘膜の沈下量を測定し、Sohm¹⁸⁾、Spreng¹⁹⁾、平田²⁰⁾、大島²¹⁾、宮下²²⁾は面積の小さい加圧桿で局所被圧変位量を計測している。

これらの中で宮下²²⁾は直径1.5 mmの円柱状の加圧桿による局所被圧変位量を測定し、荷重量の増加に伴う変位量の増加が平坦になる120 gを常用荷重量とし、常用荷重量における粘膜の変位が義歯床の沈下量と概略的な比例関係にあることを報告した。また、岸²³⁾は大部分の症例において、約60 mm²の加圧面積で1.0~2.0 kg/cm²の荷重量による荷重開始から1秒前後の変位から義歯床の変位を推察することができるとしている。ゆえに局所的被圧変位により義歯装着時の粘膜の物理的挙動がある程度推察できると考えられる。

田中⁷⁾は口蓋粘膜を粘弾性体として捉えてその静的粘弾性、つまりクリープをVoigt型4要素

表6 荷重時の変位から算出した物理定数

測定部位	E 1 ($\times 10^7$ dyne/cm ²)	E 2 ($\times 10^8$ dyne/cm ²)	η 2 ($\times 10^8$ poise)	η 3 ($\times 10^9$ poise)	λ (sec)
1	5.10	1.39	5.09	5.35	3.70
2, 3	3.59	1.41	5.30	6.08	3.86
4	15.07	2.52	10.03	10.79	4.08
5, 6	7.24	1.48	5.89	6.41	3.98

表 7 除重時の回復から算出した回復指数

測定部位	除重直後 ($\times 10^6$)	ピーク ($\times 10^6$)	30秒後 ($\times 10^6$)
1	1.72	2.65	2.50
2, 3	1.59	2.36	2.26
4	1.50	1.80	1.60
5, 6	1.79	2.40	2.14

モデルを用いた解析により、弾性率、粘性率による定量化を試みた。中島⁸⁾は口蓋粘膜の応力緩和により同様に物理定数を算出し、佐藤⁹⁾は荷重量の変化に伴うクリープの変化を瞬間弾性変形、遅延弾性変形、純粘性流動変形別に詳細に報告している。これらの中で粘膜の回復現象に言及しているクリープ解析についての研究ではいずれも、除重時の回復現象については Voigt 型 4 要素モデルでは解析できないとしている。しかしながら、口腔粘膜と類似の性質をもつとされている脛骨付近の軟組織のクリープにおいて、若年者と高齢者では高齢者のほうが回復量に関して少ないという Kydd⁶⁾の報告もあることから、粘膜の性質を把握するためには荷重下の挙動だけでなく荷重除去後の回復についても知る必要があると思われる。

なお、粘弾性挙動を把握するもうひとつの方法である動的粘弾性測定によるものには、圧電振動子を応用したもの²⁴⁾、インパクトハンマー方によるもの²⁵⁾などがあげられるが、最近では谷田部²⁶⁾が、フリーハンドで測定できる粘弾性測定装置を開発し、正弦波状の剪断歪みを口蓋粘膜に与えた際の応答を報告している。しかし、動的粘弾性測定においては粘弾性体をもつ弾性率、粘性率の二つの性質のうち、粘性率が静的粘弾性測定によるものよりも小さく検出されるため¹⁰⁾、これら二つの性質を均等に表すには、静的粘弾性測定がより有利であると思われる。

以上のことを鑑み、今回著者は健康有歯顎者の口蓋粘膜についてクリープを測定し、その荷重時と除重時における粘膜の挙動を明らかにし、解析方法の検討を行った。

2. 測定方法について

1) 測定装置

変位検出に使用した差動トランスは最大変位 4 mm に対し 0.02% の精度を有し、使用条件として 50℃ 以下と規定されているが、口腔内使用を想定して行った温度変化に対する出力の変動を変位換算すると 20～37℃ において 0.001 mm 以下であり、センサの精度に比べて小さく、無視できると思われる。ステンレス製ハウジングに組み込んだことによる差動トランスの出力の変化は小さく、変位と出力電圧の関係については良好な直線性が得られた。また、粘膜に負荷する荷重を起こす空気圧の制御に使用したレギュレーターの感度は 0.01 kgf/cm² であり、本実験における精度としては充分であると思われる。

今回、荷重負荷部と変位検出部を一体化し、装置の小型化が図れたため、装置の固定源を口腔内に設定することが可能となった。このため、被験者の負担が軽減し、測定精度は従来の研究に比べて向上したと思われる。また、ピックアップの固定源を口蓋床を介して歯牙に求めたが、口蓋床の厚みは約 5 mm でその形状は口蓋形態にほぼ一致しており、100 g 程度の荷重が負荷されてもその変形は小さく、クリープ測定に及ぼす影響は少ないと思われる。口蓋床を手指により歯牙に固定する際の変位は 0.02 mm 程度であり、粘膜下の骨形態、粘膜内の脈動などによる生理的変動を考慮すると変位検出系に生ずる誤差は小さいと思われる。

除重時においてプランジャーは粘膜の回復を抵抗なくとらえ、かつ固定を行っていない頭部の動揺や粘膜の反発力によりプランジャーが粘膜から離れない必要がある。本装置に用いたプランジャーの軸受けは摩擦抵抗が小さいという特徴を有しており、ピックアップを水平に設置した場合にプランジャーが動く最少荷重は 0.5 g であった。また、ピックアップを±10度の範囲で傾斜させてもプランジャーの自重による滑走はなかった。測定したクリープ曲線は滑らかな曲線であり、荷重時と除重時の粘膜の挙動を捉えたることができたも

のと思われる。

2) 測定条件

(1) 被験者

本研究の主旨は除重時も含めた口蓋粘膜のクリープ挙動の解析方法の検討であり、臨床的に正常な口蓋粘膜が有するクリープが観察される必要がある。そこで義歯などによる機械的侵襲を受けていない、臨床的に正常とみなされる口蓋粘膜を有する同年代の被験者を選択した。

(2) 測定部位

口蓋粘膜はその解剖学的特徴により部位によって異なる物理的性質をもつと思われるが、口蓋前方部の解剖学的指標として切歯乳頭、リリーフ域として口蓋中央部、義歯床の咬合圧負担に関係が深いと思われる口蓋側前方部および、後方部²⁷⁾を本実験の測定部位とした。

(3) 荷重方向

義歯機能時に粘膜が受ける力の方向は一様ではないが、測定条件の均一化を考慮して、測定部粘膜に対して可及的に垂直とした。

(4) 荷重量

荷重増加による瞬間弾性変形、遅延弾性変形および純粘性流動変形の変曲点は50～100 g付近であるとの報告があるが⁹⁾、変位量が荷重の微妙な変化によって影響を受けやすい100 g以下は望ましくないとと思われる。本研究においては除重時の回復に対する粘膜の塑性変形による影響を可及的に除くことを考慮して、100 gの荷重量を選択した。

(5) 荷重時間および除重後の観察時間

粘膜の回復を観察するためには荷重が負荷された粘膜の急激な応力緩和が終了しており、かつ反発力が残存している荷重時間を設定する必要がある。中島⁸⁾は荷重開始後約30秒後には応力の緩和傾向はゆるやかなものとなっていると報告している。そこで本研究では荷重時間を30秒とした。また、除重後の粘性的な回復の様相を把握するためにはできるだけ長く観察する必要があるが、被験者の負担を考慮して除重後の観察時間を2分とした。

なお10回の測定により平均値を算出したが各測定間の影響をできるだけ除くために測定間隔を24時間以上設けた。100 g 荷重の測定は各部10回行い、解析には平均値を用いた。

3. 解析方法について

1) 除重時も含めた口蓋粘膜のクリープの把握

本来、粘弾性体をより客観的にクリープ解析する際には、遅延時間分布関数と遅延スペクトルの近似解で行うべきである²⁸⁾が、著者が試験的に行ったところ、口蓋粘膜のクリープのように変位量の差が小さく、比較的単純なクリープを解析する場合には測定部位の差を明確に検出することが困難であった。そこでクリープ解析に利用されることが多いモデルを用いることにした。羽田²⁹⁾は、床下粘膜のクリープを義歯の動揺から観察し、荷重時および除重時も含めて Voigt 型2要素モデルで表せるとしているが、義歯の動揺から捉えたものであり臨床的ではあるが、粘膜の物理的性質を明らかにしているとは考えにくい。また、本研究において記録された荷重時のクリープ曲線は Voigt 型4要素モデルによる曲線に近似していた。そこでより簡便な理論で、粘弾性の性質を単純化するために Voigt 型4要素モデルを用いた。

田中ら^{7~9)}の方法に準じて、荷重時については粘膜の変位を総変位量 S 、瞬間弾性変形量 S_1 、遅延弾性変形量 S_2 、純粘性流動変形量 S_3 、新たに除重時においても荷重時と同様に総回復量 S' 、瞬間弾性的回復量 S_1' 、遅延弾性的回復量 S_2' 、純粘性流動的回復量 S_3' 、残留歪み DR に分割して取り出し、粘膜厚さと荷重時の変位および残留歪み、そして荷重時の変位と除重時の回復の相関分析を行った。その結果、 S_3 と S_3' 以外のすべての測定値間において有意に相関関係が認められた(表8)。

ところで、除重時に粘膜が回復現象を示すためには荷重が負荷されて、かつそれが除去されるという前提がある。そこで回復は荷重時の変位に影響をうけるという想定のもとに、荷重時の変位量と除重時の回復量の間での相関関係に注目したところ、 S_3-S_3' の相関関係に有意性がみられなか

表 8 各測定値の相関関係

	相関係数	有意性(* : $P < 0.05$)
粘膜厚さ-S	0.644	*
S-S1	0.983	*
S-S2	0.806	*
S-S3	0.439	*
S-D R	0.806	*
S-S'	0.966	*
S1-S1'	0.957	*
S2-S2'	0.778	*
S3-S3'	-0.042	

ったが、S-S' は相関係数0.966、S1-S1' は相関係数0.957、S2-S2' は相関係数0.778と高い相関がみられた。また、荷重時の総変位は粘膜厚さと相関係数0.644で相関が認められたが、必ずしも高い相関とはいえない。

S3' は S3 の影響を受けにくく、かつ両者とも部位間の有意差が現れにくかったことから、除重時の回復を荷重時の変位からみて分析する際に S-S', S1-S1', S2-S2' の比により行うことが妥当と思われた。そこでそれぞれを変位回復比、瞬間弾性比、遅延弾性比として口蓋粘膜の回復の様相を荷重時の変位を考慮して検討した。さらに遅延弾性比の経時的変動を検討するため、荷重時における遅延弾性変形量が $1-1/e$ 倍になる時間である遅延時間 λ と除重時の回復における遅延時間 λ' との比を遅延比として加えた。

2) 除重時も含めた口蓋粘膜のクリープの解析方法の検討

荷重時のクリープ曲線の解析式から導き出した式 $F \times S'(t')/S(t')$ における回復率の経時変化を関数化できれば、Voigt 型 4 要素モデルを数学的に利用できる点で非常に有利となる。しかし、その曲線は非常に複雑であり、経時変化を関数化することは困難であった。そこで曲線の特徴を表すと思われる、 $S'(0)/S(0)$ 、ピーク値、ピークタイム、 $S'(30)/S(30)$ を採択し、検討項目とした。

表 9 E1 の比較

E1 ($\times 10^7 \text{ dyne/cm}^2$)	
田中	0.37~5.80
佐藤	2.56~8.89
谷田部	0.22~0.91
Herzig	1.43~4.78
本研究結果	3.59~15.07

4. 測定結果ならびに解析結果について

1) 荷重時と除重時の測定値

(1) 荷重時の変位量, 物理定数について

表 9 に口蓋粘膜の物理定数 E1 について本研究の結果と従来の報告を示す。本研究で測定された変位量は咬合平面に垂直に荷重を負荷した佐藤⁹⁾の報告に比べてやや小さい値を示した。また、田中⁷⁾がかなり硬い値と評価した Herzig³⁰⁾の値に類似した結果が得られた。E2 についてはさらに大きな値を示したがこの値は荷重時間に依存しているため、一概に硬軟の比較はできないと思われる。また、 η_2 , η_3 については弾性率ほど大きな値を示さないがやや大きかった。このように差が生じたのは測定部位と荷重負荷方向の違いによるものと思われる。すなわち本研究においては咬合圧負担域を考慮し、口蓋側方部においては従来の研究よりやや頬側寄りで測定しており、また粘膜面に可及的に垂直に荷重を負荷したため変位方向の粘膜厚さが薄いことが想定される。これらのことから、咬合圧負担に深く関係すると思われる口蓋側方部の粘膜の硬さについては、従来の報告よりやや硬く、かつ口蓋側方部のうち前方部が後方部よりやや柔らかい傾向にあったと思われる。また、荷重時の総変位量 S が S1, S2 と高い相関を示したことは粘膜の荷重時の物理的性状が粘膜内で S1, S2 を担当する部分で決定される可能性を示すものと思われる。

(2) 除重時の回復量について

従来の報告と同様、除重時の回復量は荷重時の変位量より小さい値を示した。また田中⁷⁾は除重時の回復の経時変化は Voigt 型 4 要素モデル

では表せないとしているが、本研究においても $S1'$ は $S1$ に対し小さく、 $S2'$ は $S2$ よりも大きく、 $S3'$ もその値は小さいながらも観察され、田中⁷⁾と同様に Voigt 型 4 要素モデルに従わない結果が得られた。また、10回の測定の中で、回復量は荷重時の変位量より大きなばらつきを示したが、回復とは強制的に与えられた歪みが戻る現象で、その際の脈動などの生理的変動が反映されているものと推察される。

(3) 測定部位間の有意差について

S と $S1$ の部位間の平均値の差の検定の結果が一致し、 $S2$ 、 $S3$ の順序で S との一致性が消失したことにより、前述したように総変位量の変化には $S1$ 、 $S2$ が大きな影響を及ぼすと思われる。そこで S 、 $S1$ 、 $S2$ をみると、測定部位間の関係について、左右対称の部位 2 と部位 3、部位 5 と部位 6 の間でも Sohm¹⁸⁾の結果と同様に差が認められたものもあったが、その数は少なかった。 S 、 $S1$ 、 $S2$ に関して大きな値を示した部位を順にあげると部位 2 および部位 3、部位 1、部位 5 および部位 6、部位 4、の順であった。これは測定部位がやや異なるが佐藤⁹⁾の研究結果にほぼ一致するものであった。

また、 S' 、 DR は平均値の差の検定結果が一致し、さらに $S1'$ 、 $S2'$ もほぼ同じ部位において有意差が認められた。また $S3'$ は有意差が認められる部位も少ないことから、 S' の測定部位間の差は $S1'$ 、 $S2'$ の測定部位間の差によるところが大きいと思われる。

2) 荷重時の変位からみた口蓋粘膜の回復

変位回復比について 部位 2、3 のほうが部位 5、6 よりやや大きい傾向を示し、変位量および回復量における傾向と類似した結果を示した。遅延比がほぼ 1 を示し、遅延弾性比が 1 以上であったことは、除重直後から数秒間は除重時の回復のほうが荷重時の変位より速やかに起こることを示している。瞬間弾性比と遅延比について有意差が認められなかったことにより、他の因子に比べて粘膜の回復時の性状を表すうえでは差が出にくい、いいかえれば部位の違いによる影響を受けに

くい口蓋粘膜特有の因子と思われる。おそらく粘膜の性状が大きく異なる場合において、たとえばフラビーガムのような粘膜では瞬間弾性比と遅延比にも変化が起こることが予想され、本研究における結果は標準的な値としての役割をもつ可能性が考えられる。

遅延弾性比が部位 4 を除き、ほとんどにおいて 1 以上を示し、4 群の間で有意差が認められたのは特徴的である。Pendleton^{31~33)}はヒトの上顎顎粘膜の組織構造について報告しているが、その中で特に口蓋部側方部では粘膜下の脂肪層、線組織が網目状に結合しているとしているが、このことが遅延弾性比の値に影響していると思われる。榎本³⁴⁾はインピーダンスプレスチモグラフィと反射型光電プレスチモグラフィの併用により荷重負荷状態と荷重除去後の血流と組織液の流出の変化を観察し、50 g/cm² の荷重を 30 秒間負荷した後の除重直後の組織液と血流の回復状態は 60~80% の回復を示すと報告している。本研究においては瞬間弾性比がほぼ 0.5 を示し、かつ遅延弾性比が 1 よりも大きいことから、粘膜の器質成分の回復は液状成分の回復にやや遅れて起こることが推察される。また、組織学的性状の異なる部位間においても瞬間弾性比の変動が小さいことから、 $S1$ と $S1'$ の量的変化は粘膜の構成成分である粘膜上皮、粘膜固有層、あるいは粘膜下組織に存在する脈管系にある液状成分の移動に依存していることが推察される。これは Kydd³⁵⁾の“負荷が粘膜に加えられる際に起こる変形の大部分は、周囲の負荷されていない粘膜との間での水分のやり取りによる”という見解と一致する。以上の検討から、荷重時と除重時の粘膜の実態を明らかにできたと思われる。

3) 回復率の適用について

$S'(0)/S(0)$ は前述の瞬間弾性比であり、瞬間弾性変形に対する除重時の瞬間的な回復の実態を表現している。ピーク値、ピークタイムはともにばらつきが大きく、ピーク値は有意差が認められたが、粘膜の回復の様相を特徴的に示す遅延弾性比の結果と異なり、部位 5 および部位 6 が部位 2

図15 弾性率 E1 と回復率のピーク値の関係

および部位 3 よりも値が大きかった。またピークタイムは部位間のばらつきが大きかったが、部位 4 を除いて 10.15～20.2 秒となっている。しかし、ピーク後の回復率の変動は 10% 前後と小さく、10～15 秒の間でピーク値をとると考えてほぼ粘膜の回復の実態を表せると思われる。S'(30)/S(30) は変位回復比であり、荷重時の最大変位に対する除重時の回復の実態を表現している。

遅延弾性比とピーク値を比較すると、口蓋側方部の前方部、後方部においてその大小関係が逆転する結果を示した。これはピーク値は遅延弾性比の性質だけでなく粘性変形の変動も含めて回復の様相を表現する性質をもつためと思われる。S3 と S3' は単独で取り出すとその絶対量が小さくそれに比べてばらつきの割合が大きいため、荷重時と除重時との比較が困難である。これに対し、ピーク値は荷重時と除重時の遅延弾性的な性質と粘性な性質を併せもつものであり、その絶対量に対する粘性な性質の変動がしめる割合が小さい。以上のことより、粘膜の総合的な回復傾向を表現するためには回復率の適用が有効であると考ええる。

4) 弾性率 E1 と回復率のピーク値の関係について

図15に回復率とピーク値との相関関係を示す。各群において飛び離れた値があるが、部位 1、部

位 2 および部位 3 は E1、ピーク値とも狭い範囲に局限している。部位 5 および部位 6 は E1 は広い範囲にあるが、ピーク値は部位 1、部位 2、部位 3 と有意差が認められたもののその差は小さく、ほぼ同じ範囲に局限している。これに対し、部位 4 は E1 が大きく、ピーク値は小さい。いいかえると、口蓋前方部は柔らかく戻りやすく、口蓋側方部後方部は硬さの範囲は広いが前方部と同じ程度に戻りやすい。また口蓋中央部は硬くて戻りにくいといえる。谷田部²⁶⁾は動的粘弾性測定により、有歯顎者の口蓋側方部での抵抗力は前方部と後方部であまり差はないが、回復は後方部のほうが比較的遅くなると報告しているが、本研究では回復の速さについては明確な傾向がみられなかった。E1 を触診などの方法により粘膜の被圧縮度として最も判りやすいパラメーターと考えると、触診する部位により異なる被圧縮度が観察されても、口蓋中央部を除けば回復率はほぼ同様の傾向を示すと考えられる。

5) 回復指数について

前述の回復率に荷重を乗じたものが回復指数であるが、その数式における位置よりいわば粘膜の回復力のような意味合いをもつ。しかし荷重が変化すると回復指数の変動は粘膜の回復の変動に比べて非常に大きくなることが想定され、その絶対値を“力”としてとらえることは危険である。し

かし、粘膜の回復も含めた粘弾性解析の際に、荷重時の解析により算出した物理定数を利用して、ある程度除重時のクリープが再現できることが判った。今後、荷重、荷重時間、荷重面積を変化した際の粘膜の変位、回復の詳細な検討が待たれる。

5. 回復率、回復指数の臨床的意義について

義歯製作の過程における印象採得において、さまざまな印象方法、印象材が推奨されている。榎本³⁴⁾は生理学的立場より、粘膜下の液状成分の変動から100~150 g/cm²の圧で30秒間持続されるような印象方法が望ましいとしている。しかし、本研究の結果から液状成分の流出と粘膜のクリープ回復は追従しないと推察され、かつ部位によりその挙動が異なるため、一様に規定するのは困難であると考えられる。また粘膜は小さな負荷で長時間加圧するほうが変形を受ける³⁵⁾という報告もある。

近年、使用頻度の増えている軟質裏装材において、機能時の緩圧効果を考慮するだけでなく、非機能時にいわゆる粘膜を休めるといった効果を求めるならば、本研究における粘膜の回復に関する検討がひとつの指標となるとと思われる。

V. 結 論

口蓋粘膜の粘弾性を明らかにする目的で、厳密な頭部固定の必要のないクリープ測定装置を試作し、口蓋粘膜が臨床的に正常とみなされる被験者8名(26~29歳、平均27.4歳)について、粘膜の荷重時の変位量と除重時の回復量を測定し、その解析方法について検討した結果、以下のような結論を得た。

1. 荷重時の変位量、除重時の回復量について

1) 荷重時の変位量については、瞬間弾性変形、遅延弾性変形、純粘性流動変形のすべてが口蓋中央部が小さく、そのほかの部位では後方部になるほど小さくなる傾向にあった。

2) 除重時の回復量に関して、瞬間弾性変形、遅延弾性変形、純粘性流動変形に相当する部分が観察され、それぞれ荷重時と同様の傾向を示し

た。

2. 変位回復比、瞬間弾性比、遅延弾性比、遅延比について

1) 変位回復比は口蓋中央部が小さく、その他の部位では後方になるほど小さくなる傾向を示した。

2) 瞬間弾性比は、部位間の差は小さくほぼ0.5を示した。

3) 遅延弾性比は部位4以外では1以上を示し、遅延弾性的な回復は荷重時に比べて大きかった。

4) 遅延比は部位間の差は小さく、ほぼ1を示し、遅延弾性的な回復は荷重時の遅延弾性変形より迅速であった。

3. 回復率、回復指数について

1) 除重直後と30秒後の回復率は瞬間弾性比と変位回復比に一致し、その時刻における変位に対する回復の様相を表現できる。

2) ピークタイムはばらつきが大きかった。また、ピーク値は除重時の遅延弾性的な回復と粘性的な回復の性質を併せもつものであり、除重時の回復現象を表すために有効であることが判った。

3) 回復率に荷重量を乗じた回復指数により、荷重時のクリープにより算出した物理定数を用いて除重時の回復がある程度再現できることが判った。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始懇切なるご校閲とご指導を賜りました東京医科歯科大学歯学部高齢者歯科学講座、長尾正憲教授に深甚の謝意を表します。また絶えず本研究にご助言、ご教示をいただきました早川巖助教授に心から感謝の意を表します。さらに、本研究にご協力いただきました日本油脂株式会社筑波研究所、松本竹男様に厚くお礼申し上げます。

最後に研究にご協力いただきました被験者各位ならびに東京医科歯科大学歯学部高齢者歯科学講座諸先生方に深謝いたします。

なお本研究の一部は、平成3年9月、第86回日本補綴歯科学会学術大会において発表した。

文 献

- 1) 長尾正憲：高齢者歯科補綴の意義. 歯科ジャーナル 30 : 537-542, 1989.
- 2) 早川 巖：軟質裏装材の応用. 歯科ジャーナル 20 : 702-706, 1984.
- 3) 早川 巖, 他：新開発の餅状フッ素系軟質裏装材の性質とその使用法. 歯界展望 68 : 383-392, 1986.
- 4) 平野滋三, 安藤秀二, 早川 巖, 長尾正憲：光重合型軟質裏装材の研究. 補綴誌 34 : 84回特別号 : 208, 1990.
- 5) Kydd, W. L. and Mandley, J. : The stiffness of palatal mucoperiosteum. J. Prosthet. Dent. 18 : 116-121, 1967.
- 6) Kydd, W. L., Daly, C. H. and Wheeler, III, J. B. : The Thickness Measurement of Masticatory Mucosa in vivo. Int. Dent. J. 21 : 430-441, 1971.
- 7) 田中資郎：口蓋粘膜のクリープに関する研究. 補綴誌 16 : 106-127, 1973.
- 8) 中島俊朗：口蓋粘膜の応力緩和に関する研究. 補綴誌 19 : 391-410, 1975.
- 9) 佐藤志貴：口蓋粘膜のクリープと荷重量との関係. 補綴誌 23 : 103-125, 1979.
- 10) 種谷真一：やさしいレオロジー工学. 東京, 1990, 工業調査会, 67-73.
- 11) 小林賢一, 鈴木哲也, 木村益己, 田中慎二, 内田博之, 長尾正憲：補綴領域における超音波パルス反射法の応用一装置および得られた映像について. 補綴誌 30 : 684-690, 1986.
- 12) 石鍋 聡：荷重時における義歯床下粘膜の厚さの変化に関する研究. 補綴誌 35 : 111-124, 1991.
- 13) Kantrowicz, A. und Schmitz, W. : Ist die Berücksichtigung einer für individullen Kondylenbahn zur Funktion ganzer Prothesen notwendig ? Zahnärztl Rdsch. 37 : 125-129, 1928.
- 14) Münzesheimer, F. und Trebisch, F. : Neue Prüfmethode der Funktionstüchtigkeit Künstlicher Gebisse. Viertelj f Zahnheilk. 44 : 1-27, 1928.
- 15) Pfeiffer, K. : Untersuchungen über die Resilienz der durch die Prothesen beanspruchten Gewebe und ihre Bedeutung für die Okklusion der Prothesen. Schw Mshr f Zahnheilk. 39 : 401-461, 1929.
- 16) Boucher, C. : Studies of displacement of tissues under dentures. J. Am. Dent. Assoc. 27 : 1476-1478, 1940.
- 17) Körber, E. : Untersuchungen über die Beziehung von Kaukraft zur Schleimhautresilienz unter Prothesen. Dtsch Zahnärztlz. 9 : 348-355, 1954.
- 18) Sohm, H. : Untersuchungen über die Kompressibilität der Gaumenschleimhaut bei senkrechter Druckeinwirkung. Z f Stom. 32 : 202-217, 1934.
- 19) Spreng, M. : Der Kauaddruck. München-Berlin, 1953, Urban & Schwarzeberg, 6-20.
- 20) 平田幹男：無歯顎粘膜の被圧縮度に関する臨床的研究. 補綴誌 3 : 14-27, 1959.
- 21) 大島健嗣：総義歯床座粘膜の被圧縮時における荷重量および圧縮量に関する研究. 補綴誌 12 : 245-291, 1967.
- 22) 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.
- 23) 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 : 1043-1070, 1972.
- 24) 佐藤正喜, 城野利盛, 岡野雅一, 市倉 治, 笹井啓史, 中島真吾, 小林喜平, 加藤吉昭, 尾股定夫：圧電振動子による硬さ知覚用触覚センサーの歯科補綴領域への応用. 補綴誌 34 : 83回特別号 : 99, 1990.
- 25) 関口淳平, 西田尚史, 本間和人, 豊田 実, 松尾悦郎, 平山正充：インパクトハンマによる口腔軟組織の粘性試験法の試み. 補綴誌 34 : 84回特別号 : 202, 1990.
- 26) 谷田部 優：上顎顎粘膜の動的粘弾性測定に関する研究. 口病誌 58 : 74-94, 1991.
- 27) Zarb, G. A., Bolender, C. L., Hickey, J. C. and Carlsson, G. E. : Boucher's Prosthodontic Treatment for Edentulous Patients Tenth edition. St. Louis, 1990, Mosby, 147-168.
- 28) 村上謙吉：レオロジー基礎論. 東京, 1991, 産業図書, 93-114.
- 29) 羽田 勝, 今井守夫, 大石 旭, 松本直之：上顎全部床義歯の動揺経過からみた口蓋粘膜の粘弾性的特性について. 補綴誌 34 : 408-414, 1990.
- 30) Herzog, E. : The pressure deformation relationship and rheologic behavior of palatal mucoperiosteum. Thesis, Univ. of Washington, 1965.
- 31) Pendleton, E. C. : The anatomy of the maxilla from the point of view of full denture prosthesis. J. Am. Dent. Assoc. 19 : 543-572, 1932.
- 32) Pendleton, E. C. and Glupker, H. : Research on the reaction of tissues supporting full dentures. J. Am. Dent. Assoc. 22 : 76-89, 1935.
- 33) Pendleton, E. C. : Changes in the denture supporting tissues. J. Am. Dent. Assoc. 42 : 1-15, 1951.
- 34) 榎本善仁：加圧に対する口蓋粘膜の生理学的反応に関する研究—インピーダンス・プレスチモ

グラフィーと反射型光電ブレスチモグラフィー
の併用による観察一. 歯学 65 : 230-254, 1977.
35) Kydd, W. L. and Daly, C. H. : The biologic and

mechanical effects of stress on oral mucosa.
J. Prosthet. Dent. 47 : 317-329, 1982.