原 著 論 文

軟質裏装材の衝撃緩衝に関する研究

第1報 板状試料の衝撃緩衝能

河野 文昭 永尾 寛 野田 正純
松本 直之 今 政幸* 浅岡 憲三*

Shock-absorbing Behavior of Soft Denture Liner

Part 1. Plate Specimens

Fumiaki Kawano, Kan Nagao, Masazumi Noda,
Naoyuki Matsumoto, Masayuki Kon* and Kenzo Asaoka*

Abstract : The soft denture liner is widely used to improve the comfort of the removable partial denture and reduce the residual resorption by reducing impact force.

The purpose of this study was to measure the impact force absorbing behavior of soft denture liners by drop-ball test with the accelerometer.

The results were as follows :

1. Molloplast-B and Molteno showed excellent shock absorbability. The thick specimen showed higher shock absorbability than the thin specimen.
2. The thickness of the specimen did not affect the change of the shock absorbability with time. The shock absorbability of the Kurepeet-Dough decreased with time and its value showed one-half of the value at 24 hours.
3. An acrylic resin showed the shortest rising time to the peak in the materials investigated. Molloplast-B and Molteno showed the longest rising time to the peak.
4. The average of the rising time for SuperSoft and Kurepeet-Dough hardly change with time. For Molteno and Molloplast-B, the variation of the rising time between specimens increased with time.

Key words : soft denture liner, shock absorbability, drop-ball test

徳島大学歯学部歯科補綴学第一講座（主任：松本直之教授）

*徳島大学歯学部歯科理工学講座（主任：浅岡憲三教授）

Department of Removable Prosthodontics, School of Dentistry, The University of Tokushima (Chief : Prof. Naoyuki Matsumoto)

*Department of Dental Engineering, School of Dentistry, The University of Tokushima (Chief : Prof. Kenzo Asaoka)

平成5年5月27日受付

I. 緒 言

軟質裏装材は、高度な下顎骨の吸収や顎堤粘膜が菲薄で疼痛閾値の低い無歯顎症例に対して機能圧の積極的な緩圧を目的に、臨床の場でしばしば用いられている¹⁻¹¹⁾。Lammie らは、義歯に軟質裏装材を裏装することにより咬合圧が分散され、その結果、骨組織の再生が認められたことを示し、軟質裏装材の緩圧効果について報告した¹⁾。また、Parker は、シリコンゴムをショックアブソーバーとして義歯床と人工歯の間にサンドイッチ状にはさむことにより、床下粘膜に伝わる咬合時の衝撃力を減少させることができること⁴⁾を、同様に、Plotnick も軟質裏装材がストレスブレーカーとして機能していること⁵⁾を報告した。

軟質裏装材には種々のものがあり、当初はビニル樹脂や軟質アクリル樹脂、シリコンゴムが用いられたが、材質の劣化、着色、細菌の付着などの問題があり、長期間の使用に耐えられなかった。近年、フッ素系樹脂やポリオレフィン系などの新しい素材の軟質裏装材が開発され、市販の軟質裏装材は多様化している。

軟質裏装材の研究には、クリープ試験や引っ張り試験などにより材料特性を求め、臨床的観点から材質の変化について検討を加えたものが多くみられる^{2,13,14)}。また、咬合力の分散および均一化の観点から、軟質裏装材の緩圧効果についても検討がなされている^{15,16)}。しかし、軟質裏装材のもう1つの効果である咬合時の衝撃力の軽減については、Plotnick の報告⁵⁾以来、新素材を用いた軟質裏装材が開発されているにもかかわらず、ほとんど報告はみられない。

そこで、市販の軟質裏装材を用いて衝撃試験を行い、得られた衝撃波形から衝撃緩衝能を測定し、軟質裏装材の衝撃緩衝効果について検討を加えた。

II. 実験方法

1. 実験材料

実験に使用した軟質裏装材を表1に示す。アクリル樹脂系として Supersoft (略号 SS)、フッ素系樹脂として Kurepeet-Dough (略号 KD)、ポリオレフィン系として Molteno Soft (略号 MS)、シリコン系として Molloplast-B (略号 MB) を選択した。

各種軟質裏装材をメーカーの指示に従って練和およ

び重合を行い、直径 20 mm、厚さ 1.2 mm および 2.4 mm の円板状の試料を 5 個ずつ作製した。なお、MS は熱可塑性樹脂であるためホットドライヤーで軟化して填入し、試料を作製した。各試料はただちに 37°C の蒸留水中に浸漬し、測定を行うまで係留した。また、軟質裏装材の衝撃緩衝能を加熱重合レジンと比較するために、アクリン (略号 RN) を用いてメーカー指示に従い、試料作製し、37°C の蒸留水中に浸漬し、測定を行うまで係留した。以下、各材料は略号で表示する。

2. 衝撃試験

加速度振動計を用いた衝撃試験法は、緩衝材の衝撃吸収能を客観的に評価する方法の1つである¹⁷⁻²⁰⁾。そこで、軟質裏装材の衝撃緩衝能を測定するために自家製の落球式衝撃試験器を作製し、電磁石を用いて鋼球が常に同一位置に落下するようにした (図1)。図2に本測定装置のブロックダイアグラムを示す。

試料をその中央にシアノアクリレート系の接着材により固定したアタッチメントを用いて、試料台に取り付けた加速度振動計 (リオン社製、PV-90 A) 上に固定した。落球試験は、重量 5.5 g のスチールボールを 150 mm の高さから試料の中央に向かって自由落下させて行った。加速度振動計からの信号は、チャージ増幅器 (リオン社製、VW-27) で増幅し、デジタル

表 1 実験材料

Material		Code	Manufacturer
加熱重合レジン	Acron	RN	ジーシー社
アクリル樹脂系	SuperSoft	SS	コー社
フッ素系	Kurepeet-Dough	KD	呉羽化学社
ポリオレフィン系	Molteno Soft	MS	モルテン社
シリコン系	Molloplast-B	MB	M-コストナー社

図 1 測定装置

図 2 測定装置のブロックダイアグラム

図 3 衝撃波形の計測項目

メモリー (岩通社製, DM-7100) で AD 変換を行った後, パーソナルコンピュータ (TEAC 社製, PS-9000 SERIES 310 M) を用いて分析および集計を行った。

計測は, 得られた衝撃波形の第一波を対象とし, 波形の最大値, すなわち最大衝撃加速度 (Gmax), 最大衝撃加速度到達時間 (Tmax), 第一衝撃波形持続時間 (D) を求めた (図 3)。試料作製後 24 時間, 7 日, 14 日, 21 日, 30 日, 90 日の時点で, 同一裏装材の各厚さの試料 5 個のそれぞれにつき 5 回ずつ, 計 25 回の測定を行い, 最大衝撃加速度, 最大衝撃加速度到達時間, 第一衝撃波形持続時間の平均値を測定値とした。なお, 加熱重合レジンについては, 軟質裏装材の場合と同様に試料作製後 24 時間についてのみ測定を行った。

図 4 加熱重合レジンと各軟質裏装材の 24 時間後の最大衝撃加速度

さらに, 試料作製後 24 時間の最大衝撃加速度の結果から加熱重合レジンの衝撃力に対する各試験試料の衝撃力の割合を衝撃緩衝能として, 以下の式によって求めた。

$$\text{衝撃緩衝能 (\%)} = \frac{\text{レジンの衝撃加速度} - \text{軟質裏装材の衝撃加速度}}{\text{レジンの衝撃加速度}} \times 100$$

III. 結 果

1. 最大衝撃加速度について

試料作製後 24 時間の加熱重合レジンと各軟質裏装材の最大衝撃加速度を図 4 に示す。各試料の衝撃加速度は厚さの増加に伴って小さな値を示した。すなわち, 厚さ 1.2 mm の試料では, RN が 795.0 G, SS が 283.8 G, KD が 114.9 G, MS が 8.8 G, MB が 1.8 G であった。厚さ 2.4 mm の試料では, RN が 652.0 G, SS が 185.6 G, KD が 83.1 G, MS が 6.2 G, MB が 0.9 G であり, 各軟質裏装材とも加熱重合レジンに比べて小さな衝撃加速度が認められた。

図 5 に各軟質裏装材の衝撃加速度の経日的変化を示す。SS では, 厚さ 1.2 mm の場合, 20 日の間は増加傾向が, 2.4 mm の場合, 試料間のばらつきは大きいもののほぼ一定の値が認められた。KD では緩やかな減少傾向を示し, 30 日目には当初の衝撃加速度は半減した。しかし, MS と MB の場合には, 当初から衝撃加速度は小さく, 減少傾向が認められたとはいえ, その変化量は非常に小さかった。

2. 衝撃緩衝能について

被験材料の衝撃緩衝能を表 2 に示す。衝撃緩衝能は

図5 最大衝撃加速度の経日的変化

試料の厚さに関係なく SS, KD, MS の順に高くなり, MB は MS と近似した衝撃緩衝能を示した。最も低い衝撃緩衝能を示した SS でも, 加熱重合レジンと比較して約 40% 衝撃緩衝能が向上していた。

3. 最大衝撃加速度到達時間について

24 時間後の最大衝撃加速度到達時間を図 6 に示す。到達時間の最も短いものは, 加熱重合レジンの厚さ 1.2 mm で 22 μsec , 厚さ 2.4 mm で 36 μsec であった。軟性裏装材の場合は, 加熱重合レジンよりも長くなる傾向にあり, SS および KD では約 40~45 μsec であった。MS や MB では到達時間がさらに長くなり, 厚さ 1.2 mm の MS では最長の到達時間の 131 μsec が認められ, 厚さ 2.4 mm の場合には 63 μsec であった。また, MB の場合は厚さ 1.2 mm で 66 μsec , 厚さ 2.4 mm で 39 μsec となり, MS の場合と同様に試料の厚さが倍増すれば, 到達時間が半減する傾向が認められた。

図6 加熱重合レジンと各軟質裏装材の24時間後の最大衝撃加速度到達時間

表2 各厚さの加熱重合レジンの衝撃力を基準とした場合の軟質裏装材の衝撃緩衝能

	1.2 mm	2.4 mm
RN	0.0	0.0
SS	62.1	62.2
KD	80.6	85.7
MS	98.2	99.1
MB	98.2	99.0

単位: %

図 7 に最大衝撃加速度到達時間の経日的変化を示す。SS および KD では 90 日間, 到達時間にほとんど変化は認められなかった。MS の場合, 1.2 mm の試料では, 到達時間は減少傾向を示したのに対して, 2.4 mm の試料では経日的変化はほとんど認められなかった。また, MB の場合, 1.2 mm の試料では, 30 日目まで経的に最大衝撃加速度到達時間が長くなる傾向を示したが, その後, 減少傾向を示した。しかし, 2.4 mm の試料では測定された到達時間のばらつきが大きく, 一定の傾向は認められなかった。

4. 第一衝撃波形持続時間について

24 時間後の第一衝撃波形持続時間を図 8 に示す。衝撃波の第一波の持続時間は加熱重合レジンが最も短く, 1.2 mm の試料で 36 μsec , 2.4 mm の試料で 43 μsec であった。大きな衝撃加速度が認められた SS と KD の持続時間は, 1.2 mm の SS で 62 μsec , 2.4 mm で 87 μsec , KD の 1.2 mm で 64 μsec , 2.4 で 68 μsec となった。逆に, 小さな衝撃加速度が認められた MS, MB では, 1.2 mm の試料の場合, それぞれ 199 μsec , 258 μsec , 2.4 mm の試料の場合は, MS で 248 μsec , MB で 288 μsec となった。これら

図 7 最大加速度到達時間の経日的変化

図 9 第一衝撃波形持続時間の経日的変化

図 8 加熱重合レジンと各軟質裏装材の 24 時間後の第一衝撃波形持続時間

は SS, KD の持続時間より長く、試料の厚さが厚い場合、持続時間がさらに長くなる傾向を示した。

持続時間の経日的変化を図 9 に示す。各試料の持続時間は、ほとんど変化が認められなかった。

IV. 考 察

1. 実験方法について

軟質裏装材の効果には、ずり流動によって咬合圧の分散をはかる緩圧効果と咬合力の衝撃を減少させる緩衝効果があり、これらの効果が相互に作用しながら床下粘膜の負担軽減に効果を発揮しているものと考えられる。そのため、軟質裏装材の緩衝能を定量的に測定することは、軟質裏装材の開発、また、効果的使用法を検討する上で意義がある。

規格に規定されている衝撃試験としては、シャープ試験やアイソット衝撃試験や落球試験がある²¹⁾。特に、落球式試験装置は最も広く用いられている方式であるが、これらの方法は、本来、設計評価試験や耐衝撃性の合否資格試験のために行われており、衝撃緩衝能を目的として行われるものではない²¹⁾。

近年、新しい衝撃試験として落球試験機と加速度振動計を組合せた試験法が考案されてきた。山本¹⁷⁾は、

落球試験機と加速度振動計を用いた衝撃試験を行いマウスプロテクターの衝撃吸収率の測定を行っている。また、Gracis ら¹⁸⁾や小林^{11,20)}は、同様の実験を行いインプラントの上部構造の緩衝材の緩衝能の評価を行っている。このことから、加速度振動計を用いた衝撃試験は、緩衝材である軟質裏装材の緩衝能を客観的に評価する最良の方法であると考えられる。しかし、咬合時に歯牙や義歯床にどの程度の衝撃力が加わっているか明らかにされていないのが現状であるため、試料に加える衝撃力の大きさは研究者によってまちまちであり、今後、どの程度衝撃力を試料に加えるかさらに検討する必要があると考えられる。

本研究で得られた衝撃加速度の波形は減衰波形であり、通常は第一波が最も大きな波形として観察される。そのため、義歯床下の顎堤を保護するためには、軟質裏装材を用いて第一衝撃波を緩衝しなければならぬ。そこで、衝撃緩衝能の評価法として、第一衝撃波形の最大衝撃加速度、最大衝撃加速度到達時間、第一衝撃波形持続時間を測定した。

2. 最大衝撃加速度について

軟質裏装材の役割は、咬合時の衝撃力の緩衝を目的として用いられることより、衝撃波の第一波のピークを小さくし、支持組織への影響を少なくすることである。このため、観察された最大衝撃加速度が小さいほど、衝撃緩衝能が優れているといえる。

24時間後に測定された最大衝撃加速度から、材料の種類、試料の厚さを因子とする2元配置分散分析を行い、危険率5%でTukey intervalを求めた。その結果、材料間のTukey intervalは47.9 Gとなり、軟質裏装材の緩衝加速度はレジンよりも有意に小さかった。また、試料の厚さに関係なくMS、MB間には有意の差が認められないことから、本実験で用いた軟質裏装材は、SS、KD、MSとMBの3群に分類することができ、衝撃加速度は材質によって影響を受けることが示された。一方、試料の厚さ間のTukey intervalは21.5 Gとなり、MSとMBの間には、有意差は認められなかったが、RN、SS、KDでは、試料の厚さに影響を受ける傾向が示された。そのため、これらの材料を使用する場合は、厚めに裏装することにより、衝撃緩衝効果をコントロールすることが可能であると考えられる。

3. 衝撃緩衝能について

衝撃緩衝能はSS、KD、MS、MBの順に大きくなった。最も低い衝撃緩衝能を示したSSでも、加熱重合レジンと比較した場合、衝撃緩衝能が約40%高くなっており、咬合時の義歯床を介して粘膜に伝達される衝撃力は、軟質裏装材によって十分に緩衝されているものと考えられる。中でもMBとMSでは、加熱重合レジンに比べて99%も衝撃緩衝能は増大しているため、衝突エネルギーは粘膜に伝達されず、ほとんど吸収されてしまっているものと考えられる。特にMSはカスタムメイドのマウス・ガードの材料としても一般に用いられており、衝撃緩衝能が高いのも当然である。しかしながら、Bascomが義歯に1.5 mm以上の厚さのシリコンタイプの軟質裏装材を裏装した場合、患者はラバー製のボールを咬んでいる感じがすると臨床報告¹²⁾しているように、極端に衝撃緩衝能の高い材料を軟質裏装材として用いた場合、咀嚼感の点から患者の咀嚼運動に影響を与えるものと考えられる。

一方、米山は咬合圧分布から軟質裏装材の緩圧効果を検討し、粘性要素の多いSSやKDがMSに比べて、高い緩圧効果と負担圧の均等化に優れていることを報告している¹⁵⁾。これらの結果と本実験の衝撃緩衝能の結果とをあわせて検討した場合、粘性要素の少ないMS、MBは咬合圧の均等化よりも、むしろ衝撃力の緩衝がその効果の中心となっているものと考えられる。また、本研究で用いた4種類の軟質裏装材の中では、SSとKDはある程度の粘性を有することから咬合圧の均等化と衝撃の緩衝能をともに合せ持つ材料と考えられる。

軟質裏装材の長期間の使用に際して、その効果がどのように変化するかを知る必要がある。そのため、材質定数の変化や軟質裏装材の吸水性について検索がなされている^{1-3,7,22)}。一般に、軟質裏装材の材質の変化は、材料の吸水量と含有成分の溶出量によって影響を受けるといわれている²²⁾。特に、アクリル樹脂系のSSは、硬化体自体を疎にすることによって粘弾性の性質を得ているため、吸水量が大きくなることが知られている²²⁾。また、KDもSS同様、比較的吸水性が高いことが知られており²²⁾、硬化体が疎な構造をとるため、材質の劣化が著しいと推察される。そのため、吸水性の高い軟質裏装材は膨潤し、次第に粘弾性が失われるようになる。しかし、測定された衝撃加速度は逆に減少する傾向を示した。これは、軟質裏装材が膨

潤したあと、硬化体内にある水分がダンパーとして働き、衝撃緩衝能を増加させたものと推察される。一方、MS と MB は、吸水性がほとんどなく、吸水による影響をほとんど受けないため、測定された衝撃加速度は減少傾向を示すものの経時変化は非常に少なかったものと考えられる。

4. 最大衝撃加速度到達時間について

最大衝撃加速度到達時間は加熱重合レジンで最も短く、MS、MB で最も長くなった。これは、最大衝撃加速度の大きな材料は、最大衝撃加速度到達時間が短く、逆に、最大衝撃加速度の小さな材料は、到達時間が長くなることを示している。

そこで、24 時間後に測定された軟質裏装材の最大衝撃加速度到達時間から、材料の種類、試料の厚さを因子として 2 元配置分散分析を行い、危険率 5% で Tukey interval を求めた。その結果、材料間の Tukey interval は $10.0 \mu\text{sec}$ であり、RN に比べて軟質裏装材の最大衝撃加速度到達時間は有意に長くなった。しかし、SS と KD 間には有意の差は認められなかった。一方、厚さ間の Tukey interval は $4.5 \mu\text{sec}$ であり、SS と KD の場合、両方とも有意差は、認められなかった。

経日的変化についてみると、SS と KD は測定結果にばらつきが小さく、平均値もほとんど変化が認められなかった。一方、MS と MB の場合、到達時間にばらつきが大きく、一定の傾向が認められなかった。これは、加速度振動計から得られた衝撃加速度の波形の持続時間は長く、ピークは平坦で、かつのこぎり波として観察されたため、計測結果にばらつきが大きくなったものと考えられる。

5. 第一衝撃波形持続時間について

衝撃波の第一波の持続時間は、衝撃加速度の大きさ反比例して長くなる傾向にあった。つまり、衝撃加速度の大きな RN で最も短く、MB で最も長くなった。そこで、24 時間後に観察された軟質裏装材の第一衝撃波形持続時間から、材料の種類、試料の厚さを因子として 2 元配置分散分析を行い、危険率 5% で Tukey interval を求めた。その結果、材料間の Tukey interval は $10.1 \mu\text{sec}$ であり、RN に比べて軟質裏装材の持続時間は有意に長くなった。特に、MS と MB の持続時間は、SS、KD に比べて有意に長くなった。一方、厚さ間の Tukey interval は $4.5 \mu\text{sec}$

表 3 各種軟質裏装材の材料定数

	$E_1(\text{MPa})$	$E_2(\text{MPa})$	$\eta_2(\text{MPa} \cdot \text{S})$	$\eta_3(\text{MPa} \cdot \text{S})$
SS	1.32	3.23	12.1	4515
KD	1.22	3.07	9.8	5430
MS	1.27	4.12	—	—
MB	1.00	19.50	27.8	—

であり、KD にのみ、有意差は認められなかった。

持続時間の経日的変化は大きな変化が認められず、試料の蒸留水中への浸漬の影響は少なかった。

弾性体の場合、弾性係数が小さいほど衝撃力が小さくなる傾向にある。しかし、本実験で用いた軟質裏装材のクリープ試験より求められた瞬間弾性係数¹⁶⁾ (表 3) と最大衝撃加速度、最大衝撃加速度到達時間、第一衝撃波形持続時間との相関係数を求めたところ、それぞれ 0.398, 0.262, 0.409 となり、必ずしも弾性係数と衝撃緩衝能は一致していない。このことは、弾性係数からその材料の持つ衝撃緩衝能を把握することができないことを示しており、衝撃緩衝能を定量的に把握するには加速度振動計を用いた衝撃試験が有効であることを示しているものと考えられる。

今後、咀嚼感と併せてどの程度の衝撃緩衝能を有する材料が軟質裏装材として望ましいか検討する必要がある。

V. 結 論

4 種類の長期使用タイプの軟質裏装材の衝撃緩衝能について検討したところ以下の結果が得られた。

1. 衝撃緩衝能は SS、KD、MS の順に高くなり、MB は MS と近似した衝撃緩衝能を示した。また、各被験材料とも厚い試料では高い衝撃緩衝能を示した。

2. 衝撃加速度の経日的変化は、試料の厚さによる影響はあまり受けず、一定の傾向を示した。SS では、衝撃加速度は 90 日の間、試料間のばらつきは大きいもののほぼ一定の値が認められ、ほとんど変化は認められなかった。KD では緩やかな減少傾向を示し、30 日目に当初の加速度は半減した。一方、MS、MB においても KD 同様減少する傾向が認められたが、その変化量は非常に小さかった。

3. 最大衝撃加速度到達時間は加熱重合レジンで最も短く、MS、MB で最も長くなった。

4. 最大衝撃加速度到達時間の経日的変化について

みると, SS, KD は, 測定結果にばらつきが小さく, その平均値もほとんど変化が認められなかった。一方, MS, MB では到達時間にばらつきが大きく, 一定の傾向が認められなかった。

以上より, 軟質裏装材の効果の1つである衝撃緩衝能を定量的に把握するには, 加速度振動計を用いた衝撃試験が有効であることが示された。

この研究の一部は平成4年度科学研究費補助金奨励(A)(課題番号04771611)により行われた。

本研究の要旨は, 平成4年度歯科理工学会学術講演会(平成4年9月28日, 東京)において発表した。

文 献

- 1) Lammie, G.A. and Stores, R.: A preliminary report on resilient denture plastics, *J Prosth Dent*, 8: 411~424, 1958.
- 2) Storer, R.: Resilient denture base materials Part 2, Clinical trial, *Br Dent J*, 113: 231~239, 1962.
- 3) Bate, J.F. and Smith D.C.: Evaluation of indirect resilient liners for dentures: laboratory and clinical tests, *J Am Dent Assoc*, 70: 344~353, 1965.
- 4) Parker, H.M.: Impact reduction in complete and partial dentures, A pilot study, *J Prosth Dent*, 16: 227~245, 1966.
- 5) Plotnick, I.J.: Stress regulator for complete and partial dentures, *J Prosth Dent*, 17: 166~171, 1967.
- 6) 川崎文孝, 滝新典生, 尾花甚一ほか: 常温重合による弾性裏装材の臨床成績について, 補綴誌, 21: 150~158, 1977.
- 7) Wright, P.S.: Composition and properties of soft lining materials for acrylic dentures, *J Dent*, 9: 210~223, 1981.
- 8) 津留宏道, 長沢 亨, 大川周治ほか: 新しい義歯床用軟質裏装材「モルテノ」の臨床評価, 歯科技工, 15: 519~525, 1987.
- 9) Qudah, S. Harrison, A. and Huggett, R.: Soft lining materials in prosthetic dentistry: A review, *Int J Prosthodont*, 3: 477~483, 1990.
- 10) 森 正博, 松本亀治, 三輪悦子ほか: 軟質裏装材を使用した全部床義歯患者の臨床観察, 鶴見歯学, 16: 289~296, 1990.
- 11) 小林文隆: 緩衝材の衝撃吸収能に関する研究 第1報 板状試料の衝撃吸収能, 補綴誌, 36: 1004~1015, 1992.
- 12) Bascom, P.W.: Resilient denture base materials, *J Prosth Dent*, 16: 646~649, 1966.
- 13) 鱒見進一: 軟質裏装材のレオロジカルな性質と咀嚼能力に及ぼす影響, 九州歯会誌, 38: 864~879, 1984.
- 14) 平沼謙二, 佐野恭之, 太田 巧ほか: 粘膜調整材ならびに軟性床用裏装材の物理的性質よりみた臨床的評価, *DE*, 88: 27~34, 1989.
- 15) 米山喜一: 咬合力の床下組織への伝達に関する基礎的研究, 鶴見歯学, 16: 173~195, 1990.
- 16) 多田 望, 河野文昭, 永尾 寛ほか: 軟質裏装材の緩衝効果に関する基礎的研究, 補綴誌, 35: 85 回特別号: 176, 1991.
- 17) 山本鉄雄: マウスプロテクターの機能に関する研究 第1報 衝撃吸収試験からの考察, 鶴見歯学, 15: 335~342, 1989.
- 18) Gracis, S.E., Nicholls, J.I., Yuodelis, R.A. et al: Shock-absorbing behavior of five restorative materials used on implants, *Int J Prosthodont*, 4: 282~291, 1991.
- 19) 石島 勉, 月村雅史, 山口敏樹ほか: カスタムメード・マウスガード材料に関する基礎的研究 第2報 衝撃吸収能について, 補綴誌, 36: 361~366, 1992.
- 20) 小林文隆: 緩衝材の衝撃緩衝能に関する研究 第2報 立体試料の衝撃緩衝能, 補綴誌, 36: 1276~1289, 1992.
- 21) 須藤 一: 材料試験法, 77~93, 内田老鶴圃, 東京, 1983.
- 22) 平林 茂, 野本理恵, 大久保勝久ほか: 義歯床用軟質裏装材の流動性と吸水性について, 鶴見歯学, 16: 305~311, 1990.