義歯床用軟質裏装材

早 川 巖

東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科 口腔機能再構築学系 摂食機能回復学講座 摂食機能評価学分野

(2001 年 9 月 28 日 受付)

Denture Soft Lining Materials

Iwao Hayakawa

Department of Masticatory Function Rehabilitation, Division of Oral Health Sciences, Graduate School,
Tokyo Medical and Dental University

I. はじめに

顎堤の吸収の著しい症例では、満足に咀嚼できる義歯を製作することは難しいものである。印象採得時に積極的に義歯床面積の拡大を図り、顎堤の単位面積当たりの圧負担を少なくしたり、咬合面を小さくすることで咀嚼圧の負担の軽減を図るなどの方策を駆使することでなんとかしのいでいる。しかし、極端に骨吸収が進み、かつそれに伴って被覆粘膜も非薄化している症例では、義歯床下粘膜にショック・アブゾーバーの働きがなくなり、咬合圧が緩和されことなく直接顎骨に伝えられるので、顎堤の負担がさらに増大される。加えて、硬い義歯床と弾力性のない歯槽骨との間に挟まれた薄い粘膜は、咬合する度に絞めつけられ、傷つき、痛みを発することになる。このように粘膜が非薄な症例では、さらに一歩進んだ対策を迫られる。すなわち、義歯床内面を粘膜と類似した軟らかい材料で裏打ちして、失われた顎堤粘膜の粘弾性を補い、そのクッション作用で咬合時の衝撃を緩和し、かつ顎堤全域へ圧力を均等に分散することで疼

痛の解消を図らなければならない。この裏打ちに用いる材料が軟質裏装材である(図1)。昨今では広く一般に用いられるようになり、義歯使用時の疼痛緩和を図る有用な材料として定着してきているようである。

ここでは、当教室で行われてきた研究を紹介しながら、軟質裏装材の材料、クッション効果と応力の分散、粘弾性、そして裏装することによって咀嚼機能にどのような影響が現れるかなども加え、軟質裏装材について総合的に考えてみたい。

II. 軟質裏装材の材料

材料としてアクリル系、シリコーン系、フッ素系、オレフィン系など多くの樹脂が使用されてきた。現在一般に用いられている大方の製品は可塑剤添加アクリル樹脂とシリコーンラバーである¹⁾。ともに加熱重合タイプと常温重合タイプのものがあり、症例に応じて間接、直接裏装法として使い分けられている。

いずれの材料も材質的にかなり向上してきているが、まだまだ多くの問題点を残している。可塑剤添加アクリル樹脂はその組成から、アクリル樹脂からなる義歯床と強固な接着が期待できるが、吸水性、溶出量が大きいため変質、劣化しやすい²⁾。また添加されている可塑剤がレジン表面に拡散し唾液中に溶出するので、しだいに硬くなる³⁾。一方、シリコーン系材料は、化学的に安定な材料で弾性を長く維持するが、アクリル樹脂とは直接接着しないので、接着剤の使用が不可欠である。この接着剤についても、最近では接着強さがかなり向上しているといわれているが、まだまだ十分とはいえない^{4,5)}。またシリコーンは疎水性材料なので、吸水量は少ないが、ぬ

図1 失われた粘膜の粘弾性を軟質裏装材で補う。

図2 イソプレン系エラストマーを応用した軟質裏装材硬化物の構造。メタクリル酸エステルの重合は、架橋構造が緩やかに形成されるのでイソプレン系エラストマーのクッション性を妨げない。

れが悪く顎堤粘膜へのなじみが損なわれる⁶⁾。

これらの問題点を解決するために、最近イソプレン系エラストマーを応用した光重合型軟質裏装材が開発された^{2,7)}。配合されているイソプレン系エラストマーは、ハードセグメントとソフトセグメントからなるブロックコポリマーである。ハードセグメントはセグメント間に化学的な結合は持たないが、集合しやすい性質を有しているので、凝集したドメインは架橋点のような機能を持つ。間に挟まれたビニルイソプレン構造を基本骨格とするソフトセグメントがエラストマーの軟らかさを担い、架橋を形成する両末端のハードセグメントが材料の形態安定性を高める役割を果たしている。新材料はこれらのポリマーをメタクリル酸エステルモノマーに溶解させてペースト化したものに、光重合触媒を配合したものである。このペーストを光照射することによりメタクリル酸エステルが重合硬化し、IPN (Interpenetrating Polymer Network, 相互侵入高分子網目) を形成する。このエステルの重合は、架橋構造が緩やかに形成されるので、イソプレン系エラストマーのクッション効果を妨げることはない(図2)。本材料はアクリル系の裏装材に該当するが、従来のアクリル系材料のように可塑剤が配合されていないので、可塑剤の溶出にまつわる問題が生じない。また、光重合材料なので、修正を繰り返し、適切な辺縁形態が付与されたと判断された後に重合されるので、直接法で必須とされる重合後の辺縁形態の修正および研磨の必要がない⁸⁾。

この他にも当教室では、吸水性がきわめて小さく、アクリル樹脂との接着性が良好で、材質的にも安定したフッ素系の軟質裏装材を開発している^{9,10)}。広く臨床で用いられていたが、製造過程で四塩化炭素が使用されてい

たため、四塩化炭素の禁止に伴い残念ながら製造が中止されてしまった。

—粘膜調整材—

粘膜の調整を目的に使用されている Hydro-Cast (Kay-See Dental), Visco-gel (Amalgamated Dental), Fitt (Kerr), Soft Liner (ジーシー), Comfort (Coe) などの粘膜調整材 tissue conditioner も弾性裏装材と一般にはいわれている。粉末状ポリマーの組成は、ポリメタクリル酸エチル、あるいはこれを含むコポリマーで、液状モノマーは芳香族エステルのアルコール溶液である。液にはアクリル系モノマーは含まれていない。両者を混ぜると可塑性のゲル状となる¹¹⁾。

粘膜調整材は、短い期間ではあるがこの可塑性が持続されるので、使用中の義歯に裏装すれば、義歯の不適合によって歪んだ粘膜の回復に役立ち、また粘弾性もあるのでクッションとして働き、咬合時の疼痛を緩和する効果もある。しかし、材質的に不安定な高分子の軟質材料であるので、口腔内で吸水膨潤したり、逆にアルコールなどの有効成分が溶出したりして短時間で粘弾性を失ってしまう。よって、長期間使用すると、硬くなったり、汚染されたりして、かえって粘膜を損傷することになる。これはあくまでも暫間的に用いる粘膜調整材であり、ここでいう軟質裏装材とは使用目的が明らかに異なっており、区別すべきである。

III. クッション効果と応力の分散

軟質裏装材は、咬合時の衝撃を吸収緩和し、かつ床下組織に伝えられる応力を分散して疼痛緩和を図る有用な材料とされている。通常は粘膜がこの役割を担っているが、粘膜が菲薄な症例では軟質裏装材でこの作用を補うことになる。これらの効果を解明するために、模型を用いた実験や有限要素法などが一般に行われている^{12~14)}。しかし、圧力センサーを使用する模型実験では義歯床下組織全域の応力分布を測定することができないということで、最近では有限要素法が広く用いられるようになってきた^{15~17)}。有限要素法では、咬合床、粘膜、歯槽骨からなる有限要素モデルを構築し、そのモデル上で力学的状態をシミュレートし、応力分布、歪み、変位などを算出する。

確かに軟質裏装材は咬合圧が加わったとき変形を起こし、衝撃力を吸収緩和するクッション効果を持っているが、レジン床と比較すると荷重後に義歯の変位量が増大し、支持骨内の応力が増加するとの報告もみられる¹³⁾。骨内に生じる応力は、骨吸収および顎堤変化を引き起こす機械的要因の一つと考えられている^{18,19)}ので、これでは軟質裏装材の使用が顎堤の保全という面からは好ましくないということになってしまう。このあたりのことを明

らかにするために当教室では、義歯から粘膜に伝達される応力を生体環境に近似の条件で解析することを試みた²⁰⁾。従来の有限要素法を用いた研究では、義歯と粘膜、骨を一体化したモデルを用いた解析がほとんどで、モデル上での義歯の挙動は実際の粘膜上で変位する義歯の挙動と大きく異なっている。口腔内で義歯は粘膜上で唾液を介して接触しており、力を受けると粘膜上を移動する。義歯から粘膜に伝達される応力を生体に近い条件で解析するためには、この義歯の粘膜上での変位をシミュレートしなければならない。特に、軟質裏装材を使用した場合には、軟質裏装材自体の変形により義歯の変位も増大することが予想されるので、義歯床下組織に一層複雑な影響を及ぼすと思われる。そこで、この義歯床の可動状態をシミュレートするために、義歯床と粘膜の間に接触要素として Gap 要素と Truss 要素を挿入し、接触状態をより生体に近づけることを試みた。接触面に対して垂直方向に弱いバネのような Gap 要素で連結し、この動きの安定化を直列に連結した Truss 要素で図っている (図 3)。このモデルを用いて軟質裏装材が義歯床下組織の応力分布に及ぼす影響を検討した結果、荷重時の床下組織

図 3 義歯床粘膜面と粘膜表面の境界面を構成する Gap 要素と Truss 要素

図 4-1 一定荷重した際の粘膜の挙動

において応力の分散効果がみられた。特に皮質骨表面に分散効果がみられたことより、軟質裏装材の使用が顎堤保護のためにも有効であることが考えられた。

IV. 粘 弾 性

軟質裏装材は、一般には弾性裏装材 (resilient liner) と呼ばれているが、厳密な意味で真に弾性的な材料ということになると、咬合力を受けてそれが除かれる度に義歯が顎堤から跳び上がる傾向をもつことになる。粘膜は粘弾性体であるから、咬合圧で圧縮された粘膜の復元は徐々にしか起こらないので、咬み込むごとに繰り返し粘膜に圧接されて半ば粘膜に圧入されたままになり、床の維持力が持続されることになる。軟質裏装材が顎堤粘膜のように咬合力を緩和するショック・アブソーバーの役目をするには、粘膜と同様に粘弾性的性質をもつことが必要となる。すなわち、軟質裏装材が咬合圧によって変形した後の回復の仕方は、瞬間的な弾性回復ではなく、ゆっくりとした回復であるほうが好ましい^{11,21)}。このような観点からみると、シリコン系樹脂はゴム様の弾性を有しており、アクリル系樹脂は粘弾性的性質をもっている^{22,23)}。しかし、この粘弾性タイプのものについても、適切な粘弾性について考慮が払われているとはいいがたい。

軟質裏装材に与えるべき性質を探るためには、咬合圧がかかったときの顎堤粘膜の挙動を明らかにする必要がある。当教室では、まず固定源が口腔外にある従来の大型装置を改善し、固定源を歯列に求める小型のクリープ測定装置を試作した。この装置を用いて、荷重時および荷重を除去した際のクリープを測定し、特に除重時の粘膜の回復現象を明らかにした²⁴⁾。

荷重がかかると、粘膜は直ちに急激な瞬間弾性変形を起こす。続いて緩やかな遅延弾性変形が起こり、純粘性流動変形へと移っていくが、時間とともに変形率は小さくなっていく。荷重が取り除かれると、圧縮された粘膜

図 4-2 軟質裏装材の荷重負荷および除重時における挙動 (実線: 粘弾性材料, 点線: 弾性材料)

の解除が起こる。除重時の回復量については、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がみられた（図 4-1, 4-2）。

次いでこの粘膜の性質を軟質材料で置き換えることが可能か否かを検討するために、軟質材料を試作し、特に除重時の挙動が比較された²¹⁾。その結果、架橋剤およびフィラーの量を調節することにより、粘膜の性質に近づけられることが示唆された。

V. 咀嚼機能への影響

前述のように、軟質裏装材は顎堤粘膜が菲薄な症例において咀嚼時に生ずる疼痛を緩和する有用な材料として広く使用されている。確かに具合はいいのだが、通常の義歯を使用している場合と比較すると、軟質材料を圧縮するために余分な力を必要とすることが考えられ、これが咀嚼機能を乱し、かつ筋肉が疲労するのではないかとの不安があった。軟質裏装材を使用した場合、咀嚼筋筋活動や顎運動に乱れが生じ嵌合位が不安定になるとの報告もみられる²⁵⁾。そこで、全部床義歯装着者の下顎義歯を軟質材料で裏装した際、咀嚼機能にどのような変化が生ずるかを検討した^{26,27)}。

咬合力、咀嚼値、咀嚼筋の仕事量、咀嚼リズムなどが測定、算出され、軟質裏装材の裏装前後で比較された。咀嚼能力の評価には篩い分け法²⁸⁾を用いて咀嚼値が測定された。またピーナッツ 1 粒を咀嚼させ、嚥下されるまでの咀嚼筋筋電図が記録され、咀嚼回数、咀嚼時間、筋活動量、咀嚼リズムが算出された。ピーナッツ 1 粒が嚥下されるまでの筋活動量の総和を仕事量とした。また、咀嚼リズムを評価するために筋放電周期、持続時間、間隔の変動係数が算出された。その結果、軟質裏装材で裏装されたことにより、咬合力、咀嚼値は増大し、咀嚼回数、時間が減少した。咀嚼リズムも咀嚼の初期から安定する傾向がみられた。筋活動量の増加はみられず、むしろ減少する傾向があった。軟質裏装材によって顎堤粘膜に伝達される咬合圧が分散されることで、顎堤がより大きい咬合力を負担できるようになったと考えられる。また、咀嚼中に軟質材料は変形して義歯をより安定した位置にシフトすることで咬合のバランスを向上させ、咀嚼値を増大させていると思われる。咀嚼能力が向上したことと咀嚼回数および咀嚼時間が減少した。これらの効果が咀嚼機能を向上させ、咀嚼筋の仕事量の減少へとつながったものと思われる。軟質裏装材の使用は、咀嚼筋の仕事量を増加させることなく咀嚼機能を向上させることが示唆された。

VI. 適 応 症

使用にあたっては、軟質材料の助けを借りなければ解決できない症例か否かを十分に検討してから使用することが大切である。軟質材料を使用すると印象採得や咬合採得が多少不十分でも、その誤りが裏装材のクッションで補償される範囲内であれば、カバーされてしまうことが考えられる。まず、印象採得、咬合採得などの術式に熟達したうえで、有効に使用されたい。それらの誤りを材料で逃げるというのは、本筋ではないように思われる。どこかで、そのしわ寄せを受けることになる。

適応とされる症例には、次のようなものが挙げられる。

- 1) 顎堤の吸収が著しく、かつ粘膜が菲薄なため、咀嚼時に疼痛が発生する症例
- 2) 歯槽骨の吸収が不規則であったり、鋭利な骨縁があり、咀嚼時に疼痛がある症例
- 3) 歯槽骨に顕著なアンダーカットが存在する症例
- 4) 顎堤の咀嚼圧負担能力が弱く、咬合圧を分散、緩衝したい症例
- 5) 顎補綴のオブチュレーター製作

特に禁忌症はないが、粘膜が厚く、クッション作用のある症例では、本来の目的から外れるため使用は差し控えたい。

一裏装法一

直接法は、裏装材を義歯床粘膜面に盛って口腔内で印象採得を行い、それをそのまま口腔内あるいはチェアーサイドで重合させるので、比較的操作が簡便である。直接口腔内で操作するので、誤差の入る機会も少ない。しかし、唾液などによる汚染を受けやすく、また裏装形態のコントロールが難しいため、裏装材として必要な厚さを確保したり、均一な厚さにすることができない。材質によっては、未反応モノマーや重合時の発熱などによる粘膜への刺激も考えられる。理工学的性質も、その性能は間接法で製作した場合よりも劣っている。したがって、この方法は暫間的な使用を前提とした場合、あるいは患者の通院に条件のある場合などに限られるべきであろう。一方、間接法は印象採得を行った後、技工室で裏装操作を行うもので、ステップは増えるがチェアタイムは短くなる。しかも、各ステップでの操作を確認しながら行えるので、裏装形態や厚さなどをコントロールすることができる。

VII. お わ り に

高齢化社会を迎えているが、歯の寿命についてはそれほど延びがあったとの報告は聞かれないので、必然的に、義歯の使用年数だけが増加することになると思われる。老人特有の口腔内変化に加えて、この義歯使用年数の延

長は、歯槽骨をはじめ義歯周囲組織にわれわれ歯科医が今まで経験したこともない変化をもたらすのではないかと恐れている。顎堤状態の悪い症例の増加は想像に難くない。このような変化に対応するためにも、今後軟質裏装材の使用頻度はますます増加していくものと思われる。

しかしながら、現在のところ耐久性の点では義歯床レジンのようにはいかない。クッション作用を有している軟質材料は、ちょうどゴムひもが伸縮を繰り返すと、ところどころに裂け目ができて伸び切ってしまうように、使用中の伸縮に起因する材料疲労が避けられない。この疲労により材料にクラックが生じ、これが汚染の原因となり耐久性を低下させていると思われる。よって、こまめなチェック、さらには定期的な張り替えなどが必須である。より優れた材料の研究、開発が待たれる。

文 献

- McCabe, J. F. : A polyvinylsiloxane denture soft lining material. *J. Dent.* 26 : 521-526, 1998.
- Hayakawa, I., Keh, E., Morizawa, M., *et al.* : A new polyisoprene-based light-curing denture soft lining material. *J. Dent.* : (投稿中).
- Jones, D. W., Hall, G. C., Sutow, E. J., *et al.* : Chemical and molecular weight analyses of prosthodontic soft polymers. *J. Dent. Res.* 70 : 874-879, 1991.
- Kutay, O. : Comparison of tensile and peel bond strengths of resilient liners. *J. Prosthet. Dent.* 71 : 525-531, 1994.
- O'Brien, W. J. : Dental materials and their selection. Chicago, 1997, Quintessence, 90.
- Waters, M. G., Jagger, R. G. and Polyzois, G. L. : Wettability of silicone rubber maxillofacial prosthetic materials. *J. Prosthet. Dent.* 81 : 439-443, 1999.
- 山口里志 : イソプレン系エラストマーを応用した義歯床用軟質裏装材の特長. 増原英一編著, 歯科用接着性レジンと新臨床の展開, 東京, 2001, クインテッセンス出版, 65-76.
- 守澤正幸, 早川 巖 : 新しく開発された床用軟質裏装材の性質と使用法. 増原英一編著, 歯科用接着性レジンと新臨床の展開, 東京, 2001, クインテッセンス出版, 219-230.
- Hayakawa, I., Kawae, M., Tsuji, Y., *et al.* : Soft denture liner of fluoroethylene copolymer and its clinical evaluation. *J. Prosthet. Dent.* 51 : 310-313, 1984.
- 早川 巖, 野村知子, 松井一則, 他 : 餅状フッ素系軟質裏装材の開発研究. 補綴誌 30 : 321-325, 1986.
- Phillips, R. W. : Skinner's science of dental materials (ed. 10). Philadelphia, 1996, W. B. Saunders, 264.
- 栄村 勲, 前田芳信, 伊堂寺茂, 他 : 義歯軟質弾性裏装材による咬合力の分散に関する実験的検討. 阪大歯学誌 37 : 407-411, 1992.
- 河野文昭, 浅岡憲三, 永尾 寛, 他 : 粘弾性解析による軟質裏装材の有用性に関する研究—第1報 軟質裏装材が床下組織の応力分布に及ぼす影響—. 補綴誌 36 : 1305-1311, 1992.
- 河野文昭, 永尾 寛, 井上三四郎, 他 : 粘弾性解析による軟質裏装材の有用性に関する研究—第2報 軟質裏装材の裏装法の違いが床下組織の応力分布に与える影響—. 補綴誌 38 : 1328-1335, 1994.
- 田中正夫, 瀬口靖幸 : 有限要素法の基礎知識と注意点. バイオメカニズム学会誌 11 : 43-51, 1987.
- Maeda, Y. and Wood, W. W. : Finite element method simulation of bone resorption beneath a complete denture. *J. Dent. Res.* 68 : 1370-1373, 1989.
- 河野文昭, 多田 望, 永尾 寛, 他 : 粘弾性解析による義歯床下組織の応力分布—粘弾性解析の導入. 補綴誌 34 : 623-630, 1990.
- Cowin, S. C. : Bone remodeling of diaphyseal surfaces by torsional loads : Theoretical predictions. *J. Biomechanics* 20 : 1111-1120, 1987.
- 前田芳信, 堤 定美, 奥田正俊, 他 : 有床義歯装着者の骨吸収シミュレーション, 第一報 最適形状決定法の実用. 補綴誌 33 : 450-456, 1989.
- 巫 春和 : 軟質裏装材が床下組織の応力分布に及ぼす影響—接触要素を導入した有限要素法. 補綴誌 44 : 234-243, 2000.
- Hayakawa, I., Hirano, S., Kobayashi, S., *et al.* : The creep behavior of denture-supporting tissues and soft lining materials. *Int. J. Prosthodont.* 7 : 339-347, 1994.
- Matsumoto, T. and Hayakawa, I. : Study on a light cured soft lining material. International congress on dental materials, transactions : 437-438, 1989.
- Hayakawa, I. : Principles and practices of complete dentures. Tokyo-Chicago, 1999, Quintessence, 235.
- 平野滋三 : 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—. 口病誌 59 : 75-92, 1992.
- 鈴木 潤, 長田純一, 児玉厚三, 他 : 義歯床用軟質裏装材が顎口腔系に及ぼす影響について. 補綴誌 33 : 489, 1989.
- 高橋保樹 : 軟質裏装材の使用が全部床義歯装着者の咀嚼機能に及ぼす影響. 口病誌 64 : 518-533, 1997.
- Hayakawa, I., Hirano, S., Takahashi, Y., *et al.* : Changes in the masticatory function of complete denture wearers after relining the mandibular denture with a soft denture liner. *Int. J. Prosthodont.* 13 : 227-231, 2000.
- Manly, R. S. and Braley, L. C. : Masticatory performance and efficiency. *J. Dent. Res.* 29 : 448-462, 1950.