原著論文

義歯床用レジンの曲げ強さに及ぼす
ガラス繊維クロス強化樹脂の補強効果

森 宣昭 清水 博史 津江 文武
小袋 基史 川口 稔* 高橋 裕

The Effect of Woven Glass Fiber Reinforced Composites on the
Transverse Strength of Three Denture Base Resins

Mori Nobuaki, Shimizu Hiroshi, Tsue Fumitake,
Obukuro Motofumi, Kawaguchi Minoru* and Takahashi Yutaka

歯科補綴学的意義

近年開発され、臨床で使用されるようになった FRC (Fiber reinforced composites) のメタルフリーブリッジには、ガラス繊維クロス強化樹脂がフレーム材として使用されている。このガラス繊維クロス強化樹脂を義歯床用レジン
の補強材として応用が可能か、その効果について検討した。その結果、加熱重合型レジン、常温重合型レジン、マ
イクロ波重合型レジン
の 3 種類の床用レジンに対して、いずれも補強効果があることが示唆された。

抄 録

目的：ガラス繊維クロス強化樹脂を義歯床用レジンに応用し、その補強効果について検討することである。

方法：材料には、3 種の床用レジン（加熱重合型、常温重合型、マイクロ波重合型）とガラス繊維クロス強化樹脂を用いた。ガラス繊維クロス強化樹脂を光重合後、床用レジン
の真ん中に埋入し重合した。おのおの 10 個の試料を製作した。各試料は 50 時間水中浸漬後、3 点曲げ試験を行った。比較対照群として床用レジン単体の試料も作製し、ガラス繊維クロス強化樹脂の補強効果を比較した。

結果：ガラス繊維クロス強化樹脂で補強したすべての床用レジン
の曲げ強さは、床用レジン単体よりも有意に高かった。

結論：ガラス繊維クロス強化樹脂をレジン床義歯の補強材に応用することにより、レジン床義歯の補強効果が得られることが示唆された。

和文キーワード

ガラス繊維クロス強化樹脂、補強、義歯床用レジン、曲げ強さ

福岡歯科大学咬合修復学講座有床義歯学分野

*福岡歯科大学歯科医療工学講座生体工学分野

Division of Removable Prosthodontics, Fukuoka Dental College

*Department of Dental Engineering, Fukuoka Dental College

受付：2004 年 6 月 1 日/受理：2004 年 10 月 8 日

Received on June 1, 2004/Accepted on October 8, 2004

I. 緒 言

レジン床義歯は、不注意による落下、長期間使用による材料疲労などで破折を生じることが多い。また、片顎が天然歯列、片顎が総義歯のシングルデンチャーや、根面板、根面アタッチメント、バーアタッチメントなどのうえに装着されたオーバーデンチャー、すれ違い咬合などのレジン床義歯では、咬合時の応力集中によってレジン床部に亀裂や破折を生じることがある。

この対策として、金属線を補強材として埋入するレジン床義歯の補強が行われてきた。しかし、金属線を埋入した部位の義歯床が厚くなるという問題点があることから、繊維クロスで補強する方法が検討されてきた。補強用繊維素材の種類として、ガラス繊維クロス¹⁻³⁾、カーボン繊維クロス⁴⁻⁹⁾、アラミド繊維クロス⁶⁻¹⁰⁾の応用が試みられており、実際の臨床成績を追跡調査した報告もみられる^{11,12)}。しかし、繊維クロスによる補強は引張り強さが大きく向上する反面曲げ強さに対する補強効果は小さい^{4,9)}。また、カーボン繊維クロスは色調に問題があり、義歯にサンドイッチ状に埋入するときにクロスがよじれ操作性に問題があることなどから、これまで積極的に臨床応用はなされなかった。

一方、近年臨床で使用されるようになったメタルフリーのブリッジには、ガラス繊維クロスをマトリックスレジンに含浸させた状態 (Pre-impregnation) の製品を光重合させて硬化させる、半透明性のガラス繊維強化樹脂 (Fiber reinforced composites: FRC) がフレーム材として使用されている¹³⁻¹⁵⁾。FRC 化させたガラス繊維クロスは、従来使用されていた繊維クロスよりも、填入時の操作性がよくそれ自体に強度を有することから、レジン床義歯の補強材として有用であると考えられる。しかしながら、この点に関する具体的な検討は行われていない。

そこで、このガラス繊維クロス強化樹脂を床用レジンの補強材に応用した場合の曲げ強さに対する補強効果を検討する目的で、3 種の義歯床用レジンを用いて 3 点曲げ試験を行った。

II. 研究方法

1. 材料

床用レジンには、加熱重合型の Lucitone 199 (Dentsply, 以下 LU)、常温重合型の Palapress vario (Heraeus Kulzer, 以下 PA)、マイクロ波重合型の Acron MC (ジーシー, 以下 MC) を用いた。補強材には、ガラス繊維クロス強化樹脂の Vectris Frame (Ivoclar Vivadent, 以下 FRC) を用いた (表 1)。

2. 方法

FRC を光重合器 (Targis Power, Ivoclar Vivadent) にて 25 分間重合し、厚さ 0.4 mm の平面状に硬化させた。LU および MC は餅状の床用レジン填入時に、PA は流し込み時に FRC を床用レジンの中央にサンドイッチ状に埋入し、メーカー指示に従いそれぞれの床用レジンを重ねた。このとき、FRC の位置決めガイドとなるプラスチック製の自家製ジグを用いて、ほぼ試料の中央に FRC を埋入した。重合後、ルーペを用いてノギスで FRC の位置と試料の寸法を確認しながら、# 600 の耐水研磨紙で仕上げて FRC ができるだけ正確に中央に位置する 65×10×2.5 mm の寸法の試料を作製した (図 1)。さらに比較対照として、各種床用レジン単体の試料を同じ寸法で作製した。各試料は±0.03 mm の精度で作製し、試料数は各条件につき 10 個とした。

すべての試料は 37°C の温水中に 50 時間浸漬し、万能試験機 (TCM-200, Minebea) を用いて支点間距

表 1 Materials
実験材料

Material	Manufacturer	Batch no.	Code
Denture materials			
Lucitone 199	Dentsply	(P) 991129 (L) 9911014	LU
Palapress vario	Heraeus Kulzer	(P) 030572 (L) 010032	PA
Acron MC	GC	(P) 0201222 (L) 0201172	MC
Woven glass fiber reinforced composite			
Vectris Frame	Ivoclar Vivadent	094021	FRC

図 1 Schematic illustration of specimen of denture base resin reinforced with FRC
FRC で補強した床用レジンの試料

離 60 mm, クロスヘッドスピード 5 mm/min の条件で 3 点曲げ試験を行い, 曲げ強さを測定した。床用レジン単体の試料は 2 片に破断するまで測定し, FRC で補強した試料は最大応力を記録するまで測定した。さらに ISO 規格 1567¹⁶⁾ に従って, 15 N 荷重時のたわみ量と 35 N 荷重時のたわみ量との差, および 15 N 荷重時のたわみ量と 50 N 荷重時のたわみ量との差を求めた。

得られた結果は, 床用レジン単体および FRC で補強した試料間で平均値の差の検定 (対応のない独立 2 標本の t 検定) を行った。

III. 結 果

3 点曲げ試験によって床用レジン単体試料がすべて 2 片に破断したのに対し, FRC で補強した試料はすべて FRC を境に引張り側のレジンのみ破断して, 圧縮側のレジンには破断しないまま永久変形を生じ, 試料全体が 2 片に破断することはなかった。内部の FRC はすべて破断していなかった。

曲げ強さに関しては, LU は危険率 5% で PA および MC は危険率 1% で, FRC で補強した試料が有意に大きかった (表 2)。

15~35 N のたわみ量に関しては, PA は FRC で補強した試料が床用レジン単体より危険率 5% で有意に小さく, LU および MC では有意差は認められなかった (表 3)。

15~50 N のたわみ量に関しては, PA は危険率 1% で MC は危険率 5% で床用レジン単体より補強した試料のほうが有意に小さく, LU では有意差は認められなかった (表 4)。

表 2 Mean transverse strength (MPa) of the denture base bulk material and the reinforced denture bases
床用レジン単体および補強材を埋入した床用レジン
の曲げ強さの平均値 (MPa)

Denture base	Mean (MPa)	
	Bulk	Reinforced
LU	85.9 (2.0)	90.3 (3.7)*
PA	99.1 (2.6)	106.7 (7.3)**
MC	104.4 (4.6)	112.2 (5.3)**

() : Standard deviation, n=10, **p<0.01, *p<0.05

表 3 Mean deflection (mm) at 15~35 N of the denture bases
15~35 N 曲げたわみ量の平均値 (mm)

Denture base	Mean (mm)	
	Bulk	Reinforced
LU	1.34 (0.06)	1.31 (0.06)
PA	1.16 (0.05)	1.07 (0.09)*
MC	1.11 (0.04)	1.09 (0.06)

() : Standard deviation, n=10, *p<0.05

表 4 Mean deflection (mm) at 15~50 N of the denture bases
15~50 N 曲げたわみ量の平均値 (mm)

Denture base	Mean (mm)	
	Bulk	Reinforced
LU	2.54 (0.07)	2.47 (0.13)
PA	2.16 (0.03)	1.87 (0.09)**
MC	2.02 (0.08)	1.93 (0.10)*

() : Standard deviation, n=10, **p<0.01, *p<0.05

IV. 考 察

従来, 繊維クロスによるレジン床の補強に際し, 繊維を直接埋入してレジンを重合していた。しかし, 今回使用したガラス繊維クロス強化樹脂はあらかじめ形態を整えた後, 光照射にて重合し成形できるため, 所定の位置に埋入することが従来の繊維クロスより容易である。また, 厚さが金属線より薄く, 半透明性の乳

白色であることから目立たず審美的にも優れており、義歯床の厚みを増やすことなく製作できる。さらに、従来の繊維クロスは床用レジンとの接着強さを高めるため、各種の表面処理が必要であった^{1,4,9)}。しかし、シランカップリング剤などによる表面処理を施しても、ガラス表面とレジンとの界面に空隙を生じることが多く、このような空隙が原因となって補強したレジン床義歯の耐久性に悪影響をおよぼすことが懸念されてきた。これに対し、本研究で用いた FRC は多官能性モノマーを含むレジンモノマーにあらかじめガラス繊維クロスを含浸させたプレフォームタイプの材料である。このため、光重合させた後に義歯床に埋入する際、重合後の FRC 表層には大気中の酸素により重合反応が阻害された未重合層が形成される。この未重合層は床用レジンが重合する際に床用レジンとともに重合するものと予想される。

今回の結果から、ガラス繊維クロス強化樹脂は、加熱重合型、常温重合型、マイクロ波重合型の各床用レジンに対していずれも曲げ強さに対する有意な補強効果がみられた。しかし、その補強効果はあまり大きくなく、加熱重合型レジンが 5%、常温重合型レジンが 8%、マイクロ波重合型レジンが 7% の曲げ強さの増加率にとどまった。この増加率は、加熱重合型レジンにカーボン繊維クロスやアラミド繊維クロスで補強した稲永らの報告⁹⁾と同程度であった。これは、ガラス繊維クロスを含む重合体を義歯の補強に使用した場合、強化材層の厚さが約 0.4 mm と薄いため、曲げ応力に対する抵抗要素として十分に機能できなかった可能性が考えられる。一般に曲げ応力に対する床用レジンの抵抗性には厚さが大きく影響するので、Vallittu ら¹⁾の報告でも、1 mm 以上の厚さを有する金属線の補強に比べると、薄いガラス繊維クロス層による補強はあまり顕著な補強効果を示さないとされている。

また、曲げたわみ量の結果から、床用レジン単体でたわみ量の少なかった常温重合型レジンとマイクロ波重合型レジンでは、ガラス繊維クロス強化樹脂の補強によって有意にたわみ量が抑制されたが、床用レジン単体で最もたわみ量が大きかった加熱重合型レジンには、補強によるたわみ量の抑制は認められなかった。これは、本研究で選択した加熱重合型レジン¹⁰⁾の LU が耐衝撃性改善のためにブタジエンポリマーを含んでおり¹⁷⁾、耐衝撃性の向上と引き替えに機械的性質が低

下した^{18,19)}ことに起因すると考えられる。ISO 規格 1567 と比較すると、ISO の定める 15~35 N のたわみ量は 1~2.5 mm であり、3 種の床用レジン単体、補強した試料はいずれもこの範囲内を示した。一方、ISO の定める 15~50 N のたわみ量は 2~5 mm であり、3 種の床用レジン単体と補強した加熱重合型レジンはこの範囲内であったが、逆に補強した常温重合型レジンとマイクロ波重合型レジン¹⁰⁾は 2 mm 以下の小さな値を示した。15~35 N のたわみ量に補強による差が認められないにもかかわらず、より高荷重下では床用レジン単体（非補強）よりもたわみが小さいことは、常温重合型レジンとマイクロ波重合型レジンではガラス繊維による補強によって硬化物の塑性変形が抑制された結果と考えることができる。なお、今回用いた常温重合型レジン単体試料の曲げ強さは、加熱重合型レジン単体試料の曲げ強さより大きいという結果であった。平林ら¹⁸⁾の報告も同様の傾向で、PA がほぼ加熱重合レジンに匹敵する高い曲げ強さを有しているのに対し、前述のように耐衝撃性床用レジンである LU の機械的性質は低いという両者の特徴を反映している。

今後は、ガラス繊維クロス¹⁰⁾の厚さを増した場合の補強効果についても検討する必要があると考える。

V. 結 論

ガラス繊維クロス強化樹脂は、加熱重合型、常温重合型、マイクロ波重合型の各床用レジンに対して、いずれも曲げ強さに対する有意な補強効果がみられた。

文 献

- 1) Vallittu PK, Lassila VP. Reinforcement of acrylic resin denture base material with metal or fibre strengtheners. *J Oral Rehabil* 19 : 225-230, 1992.
- 2) Vallittu PK. Flexural properties of acrylic resin polymers reinforced with unidirectional and woven glass fibers. *J Prosthet Dent* 81 : 318-326, 1999.
- 3) Vallittu PK. Effect of 180-week water storage on the flexural properties of E-glass and silica fiber acrylic resin composite. *Int J Prosthodont* 13 : 334-339, 2000.
- 4) 下里隆史, 山中 彬, 倉田茂昭ほか. 炭素繊維クロス補強による義歯床用 PMMA レジン 第 1 報 クロス表面処理と補強レジン¹⁰⁾の曲げおよび引張り強さへの影響. 歯

- 材器 3 : 648-654, 1984.
- 5) 下里隆史, 山中 彬, 倉田茂照ほか. 炭素繊維クロス補強による義歯床用 PMMA レジン 第2報 炭素繊維クロスの厚みおよび枚数の複合レジン物性へおよぼす影響. 歯材器 3 : 797-801, 1984.
- 6) Grave AMH, Chandler HD, Wolfaardt JF. Denture base acrylic reinforced with high modulus fibre. *Dent Mater* 1 : 185-187, 1985.
- 7) 福田秀明, 宮入裕夫. 上顎レジン全部床義歯のカーボンおよびアラミド繊維織物による補強効果に関する研究 第1報 口蓋部の薄床化と静的強度特性. 歯材器 7 : 167-175, 1988.
- 8) 福田秀明, 宮入裕夫. 上顎レジン全部床義歯のカーボンおよびアラミド繊維織物による補強効果に関する研究 第2報 疲労特性. 歯材器 7 : 875-882, 1988.
- 9) 稲永昭彦, 中 四良, 高橋 裕ほか. カーボンおよびアラミド繊維クロスを応用した義歯床用レジンの強化に関する研究 第1報 繊維クロスの効果と表面処理について. 補綴誌 37 : 1083-1090, 1993.
- 10) 下里隆史. ポリアラミド繊維およびその改質分子で補強された複合 PMMA レジン. 歯材器 4 : 179-198, 1985.
- 11) Vallittu PK. Glass fiber reinforcement in repaired acrylic resin removable dentures : Preliminary results of a clinical study. *Quintessence Int* 28 : 39-44, 1977.
- 12) Narva KK, Vallittu PK, Helenius H et al. Clinical survey of acrylic resin removable denture repairs with glass fiber reinforcement. *Int J Prosthodont* 14 : 219-224, 2001.
- 13) Bae J, Kim K, Hattori M et al. The flexural properties of fiber-reinforced composite with light-polymerized polymer matrix. *Int J Prosthodont* 14 : 33-39, 2001.
- 14) Chong K, Chai J. Strength and mode of failure of unidirectional and bidirectional glass fiber-reinforced composite materials. *Int J Prosthodont* 16 : 161-166, 2003.
- 15) Monaco C, Ferrari M, Miceli GP et al. Clinical evaluation of fiber-reinforced composite inlay FPDs. *Int J Prosthodont* 16 : 319-325, 2003.
- 16) International Standard : ISO 1567 for denture base polymers. Switzerland, Geneva : International Organization for the Testing of Materials, 1988 (E).
- 17) Huggett R, Brooks SC, Campbell AM et al. Evaluation of analytical techniques for measurement of denture-base acrylic resin glass-transition temperature. *Dent Mater* 6 : 17-19, 1990.
- 18) 平林 茂, 中西 敏, 立野治雄ほか. 歯科用メタクリルレジンに関する研究 (第10報) 加熱重合レジン, ヒートショックレジン, 流し込みレジンおよび常温重合レジンの物理的性質について. 歯科材器 3 : 350-358, 1984.
- 19) 近藤清一郎, 大川昭治, 埴 隆夫ほか. 汎用型と耐衝撃性型床用レジンの曲げ特性の比較. 歯材器 11 : 536-543, 1992.

著者連絡先：清水 博史

〒814-0193 福岡県福岡市早良区田村
2-15-1

TEL : 092-801-0411 (内線 315)

FAX : 092-801-0513

E-mail : simizu@college.fdcnet.ac.jp

The Effect of Woven Glass Fiber Reinforced Composites on the Transverse Strength of Three Denture Base Resins

Mori Nobuaki, Shimizu Hiroshi, Tsue Fumitake,
Obukuro Motofumi, Kawaguchi Minoru* and Takahashi Yutaka

Division of Removable Prosthodontics, Fukuoka Dental College

*Department of Dental Engineering, Fukuoka Dental College

J Jpn Prosthodont Soc 48 : 781-786, 2004

ABSTRACT

Purpose : This study evaluated the effect of woven glass fiber reinforced composite (FRC) on transverse strength of denture base materials.

Methods : Three denture base resins (heat-activated resin, autopolymerizing resin and microwave-activated resin) and FRC (Vectris Frame, Ivoclar-Vivadent) were selected for the study. The FRC was light-cured and sandwiched in the middle of denture base resin and then the specimen was polymerized according to manufacturers' instructions in a gypsum mold with a cavity of 65 mm×10 mm×2.5 mm. Each specimen was immersed in 37°C distilled water for 50 hours. The control group was without FRC. Ten specimens were fabricated for each group. The transverse strength test was performed on a universal testing machine at a crosshead speed of 5 mm/min.

Results : The transverse strengths of all denture base resins reinforced with FRC were significantly higher than that of denture base resin bulk.

Conclusions : Within the limitation of the current study, the FRC has an effect upon reinforcement of denture base resin.

Key words

woven glass fiber reinforced composite, reinforcement, denture base resin, transverse strength